ROBERTO EIJI HIRAYAMA

OTIMIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE PROCESSOS DE MONTAGEM FINAL DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Trabalho de Curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Automotiva (Mestrado Profissional)

São Paulo
2005

ROBERTO EIJI HIRAYAMA

OTIMIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE PROCESSOS DE MONTAGEM FINAL DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Trabalho de Curso apresentado
à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Automotiva
(Mestrado Profissional)

Área de concentração:
Engenharia Automotiva

Orientador:
Prof. Dr.
Roberto Gilioli Rotondaro

São Paulo
2005

FICHA CATALOGRÁFICA

Hirayama, Roberto Eiji
Otimização do planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva / Roberto Eiji Hirayama. -- São Paulo, 2005.
129 p.

Trabalho de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1. Indústria automobilística 2. Processos de montagem (Planejamento) 3. Controle da qualidade (Ferramentas) 4. Engenharia simultânea I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. II. t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por se dedicarem à minha formação. Agradeço ao meu irmão Vitor, que muito me ajudou a realizar este trabalho. À minha querida Hidemi, pelo carinho comigo.

Agradeço ao Prof. Dr. Roberto Gilioli Rotondaro pelo apoio e pelas importantes orientações que viabilizaram a realização deste trabalho. A todos os professores do Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva, pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço a todos da GMB que contribuem para a minha formação profissional. Aos Srs. Heraldo José Joaquim, Sérgio C. Mosca, Aires Guimarães e João Sidney Fernandes. Aos meus amigos Ernesto, Ari, Faveri, William, Carbonaro, Priscilla, Marcelo, Gallo, Higa, Alexandre, Cilene, Odair, Vagner, Ronaldo, Andrea, Guerini, Demarque, Gyozo, Ricardo e muitos outros pela força. Muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo propor uma metodologia para otimizar o planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva. A metodologia proposta foi elaborada com base na revisão bibliográfica e no Mapeamento de Processos Críticos da atividade de planejamento de processos de montagem final durante o desenvolvimento de produtos, tendo como referência a subsidiária brasileira de uma montadora.

A metodologia proposta consiste em aplicar o PFMEA (*Process Failure Mode and Effect Analysis*) associado às seguintes ferramentas de qualidade: *Brainstorming*, *Benchmarking*, Lições Aprendidas, Sistemas À Prova de Erros, Diagramas de Causa e Efeito e 5 Por Quês.

Neste trabalho foi adotada a realização de uma pesquisa explicativa com metodologia de pesquisa-ação. Foram criados procedimentos para que a metodologia proposta fosse aplicada experimentalmente na unidade de análise deste trabalho. A fase de coleta de dados foi feita através de três estudos de caso.

Com base nos resultados obtidos, foram analisados os benefícios da aplicação da metodologia proposta e os procedimentos para formar equipes para realizar estudos de PFMEA, no contexto da Engenharia Simultânea.

Foi observado que a aplicação da metodologia proposta por este trabalho proporcionou importantes benefícios para o planejamento de processos de montagem final, a especificação técnica de equipamentos de montagem e o desenvolvimento de produtos.

ABSTRACT

The objective of this work was to propose a methodology to optimize the general assembly process planning of automotive industry. The proposed methodology was elaborated based on bibliographic revision and a Critical Process Mapping regarding general assembly process planning activity during product development, referring to a Brazilian automaker subsidiary.

The proposed methodology consists in applying PFMEA (Process Failure Mode and Effect Analysis) associated with the following quality tools: Brainstorming, Benchmarking, Lessons Learned, Error Proof Systems, Cause and Effect Diagrams, and 5 Why's.

Explicative research with action research method was adopted in this work. Procedures were created to experimentally apply the proposed methodology to the analysis unit of this work. The data collect phase were performed through three case studies.

Based on the experimental results, advantages of the proposed methodology and PFMEA team formation were analyzed, in the context of Simultaneous Engineering.

It was observed that the implementation of the proposed methodology provided important benefits to general assembly process planning, assembly equipment technical specification and product development.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cap.	Capítulo
CEP	Controle Estatístico de Processo
CPQ	(Processos) Críticos Para Qualidade
D	Índice de Detecção da análise de FMEA
DFA	*Design for Assembly*
DFM	*Design for Manufacturability*
DFMEA	*Design Failure Mode and Effect Analysis*
DMU	*Digital Mock-up*
DSI	*Document of Strategic Intent*
FMEA	*Failure Mode and Effect Analysis*
GM	General Motors
GMB	General Motors do Brasil
GVDP	*Global Vehicle Development Process*
ISO	*International Organization for Standardization*
KCC	*Key Control Characteristics*
KCDS	*Key Characteristics Designation System*
KPC	*Key Product Characteristics*
NBR	Norma Brasileira
NPR	Número de Prioridade de Risco
O	Índice de Ocorrência do estudo de FMEA
PFMEA	*Process Failure Mode and Effect Analysis*
PMCA	Processo de Melhoria Contínua Administrativa
PPAP	*Production Part Approval Process*
PQC	*Product Quality Characteristics*
PRTS	*Problem Resolution Tracking System*
QFD	*Quality Function Deployment*
QS	*Quality Standard*
S	Índice de Severidade do estudo de FMEA
SAE	*Society of Automotive Engineers*
SOP	*Start of Production*
SORP	*Start of Regular Production*
TQM	*Total Quality Management*
TS	*Technical Specification*
UM	Unidade Monetária
VDR	*Verified Data Release*

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO

1.1 INTRODUÇÃO

Nos tempos atuais a globalização e a crescente agilidade dos meios de comunicação têm aumentado a competitividade entre as empresas. No setor automotivo, observa-se uma crescente disputa das montadoras pela liderança do mercado brasileiro.

Para obter a liderança de mercado, as montadoras têm se preocupado cada vez mais em atender e exceder as expectativas de seus clientes, oferecendo produtos e serviços com qualidade superior. Um fator muito importante para a satisfação do cliente e sua impressão sobre o produto no curto prazo é a qualidade inicial, ou seja, a qualidade apresentada pelo produto nos primeiros seis meses após sua aquisição. Para que a qualidade inicial seja boa, é necessário que sejam tomados cuidados durante a fabricação e montagem do produto.

Devido à globalização, as montadoras brasileiras estão aumentando cada vez mais as exportações, fato que demonstra a necessidade de desenvolver e produzir produtos de classe mundial que possam ser vendidos em outros países. Outro fator decorrente da globalização é a entrada de montadoras provenientes de outros países no mercado brasileiro, introduzindo novos modelos de veículos para competirem com os modelos disponíveis.

Este cenário altamente competitivo evidencia a necessidade das montadoras planejarem os processos de montagem visando torná-los mais confiáveis e produtivos. Para atingir este objetivo, existem ferramentas preventivas de qualidade tais como o PFMEA (*Process Failure Mode and Effect Analysis*) que analisa os modos de falha potenciais e seus efeitos, identificando ações recomendadas que podem reduzir ou eliminar a probabilidade de ocorrência de falhas potenciais.

Para tornar a ferramenta eficaz, é necessário que estudos de PFMEA sejam feitos por equipes compostas por integrantes de diferentes áreas de uma organização, tomando cuidados referentes à eficácia em reuniões e utilizando técnicas para enriquecer a criatividade, tais como o *Brainstorming*.

Outras ferramentas de qualidade que apresentam importantes benefícios quando associadas aos estudos de PFMEA são os Sistemas À Prova de Erros, Lições Aprendidas, *Benchmarking* e técnicas para resolução de problemas tais como o Diagrama de Causa e Efeito e o 5 Por Quês (Stamatis, 1995).

Com relação ao desenvolvimento de produtos, uma metodologia que oferece grande vantagem competitiva é a Engenharia Simultânea, que consiste em sobrepor as atividades de desenvolvimento de produtos e planejamento de processos. Através da Engenharia Simultânea é possível reduzir o tempo de desenvolvimento do produto e evitar custos de modificações tardias no produto e nos processos de montagem (Slack *et al*, 1997).

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia para otimizar o planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva aplicando o PFMEA (*Process Failure Mode and Effect Analysis*) associado às seguintes ferramentas de qualidade: *Brainstorming*, *Benchmarking*, Lições Aprendidas, Sistemas À Prova de Erros (*Poka-Yoke*), Diagrama de Causa e Efeito e 5 Por Quês.

As seguintes perguntas serão respondidas por este trabalho:

"Quais são os benefícios obtidos através da aplicação da metodologia proposta durante o desenvolvimento de produtos, no contexto da Engenharia Simultânea?".

"Como formar equipes para realizar estudos de PFMEA, utilizando-se as técnicas Brainstorming e Benchmarking?".

1.3 JUSTIFICATIVA PARA O TEMA

A forte concorrência no setor automotivo associada ao aumento dos recursos tecnológicos tem feito as montadoras reduzirem cada vez mais o tempo de execução de projetos. Com isto, aumenta-se a simultaneidade de atividades, o que faz com que pessoas de diferentes áreas trabalhem em equipe com o objetivo comum de desenvolver produtos de qualidade com menores custos.

As atividades simultâneas também exigem que os participantes se preparem adequadamente para fornecer informações precisas referentes às suas necessidades para implementar um projeto. Estas informações ajudam na tomada de decisões referentes ao projeto. Foi com base nesta necessidade que a metodologia proposta por este trabalho foi idealizada.

A elaboração da metodologia proposta tem por objetivo aumentar a produtividade, segurança e qualidade dos processos de montagem final, para que sejam produzidos produtos de qualidade com redução de custos. A aplicação da metodologia proposta será antecipada com o objetivo de prevenir problemas no produto. Espera-se também obter benefícios na atividade de especificação técnica de equipamentos de montagem.

1.4 DELIMITAÇÃO DO ESCOPO

Este trabalho tem como foco o planejamento de processos de montagem de componentes diretamente na carroceria pintada do veículo, ou seja, planejamento de processos de montagem final. Não serão analisados os processos de fabricação dos componentes automotivos e nem itens referentes às áreas de estamparia, funilaria e pintura da carroceria.

Será tomada como referência a subsidiária brasileira de uma montadora, localizada na cidade de São Caetano do Sul – Estado de São Paulo. As áreas da montadora que serão objeto de estudo neste trabalho são as áreas de Engenharia de Processos de Manufatura, seus Fornecedores de Equipamentos de Montagem Final, a área de Engenharia de Produtos e a Produção da Fábrica.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado conforme descrito na Tabela 1.1.:

Tabela 1.1: Estrutura do Trabalho

Parte	Cap.	Título	Conteúdo
Introdução	**1**	Introdução	Introdução, objetivos, justificativa para o tema, delimitação do escopo e Estrutura do trabalho.
Revisão Bibliográfica	**2**	Gerenciamento da Qualidade Total	Gerenciamento da Qualidade Total, Sistemas de Qualidade, e Mapeamento de Processos Críticos.
	3	Processo de Desenvolvimento de Produtos e Planejamento de Processos	Processo de Desenvolvimento de Produtos, Engenharia Simultânea.
	4	Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial - FMEA	FMEA, FMEA de Processo, Elaboração de um FMEA de Processo, Formação e dinâmica de Equipes FMEA
	5	Ferramentas de Qualidade e Produtividade e o Relacionamento com o PFMEA	*Brainstorming, Benchmarking,* Diagrama de Fluxo de Processo, Diagrama de Causa e Efeito, Metodologia 5 Por Quês e Sistemas À Prova de Erros
Metodologia de Pesquisa	**6**	Metodologia de Pesquisa	Método adotado (pesquisa explicativa com metodologia de pesquisa-ação), elaboração da metodologia proposta por este trabalho e o Processo de Desenvolvimento de Produtos da GM – GVDP.
Aplicação da Metodologia Proposta	**7**	Aplicação da Metodologia Proposta	Procedimentos para a aplicação experimental da metodologia proposta, formação de equipes PFMEA e estudos de caso.
Conclusões	**8**	Conclusões	Resultados obtidos nos estudos de caso, análise dos resultados, sugestões para pesquisas futuras e considerações finais.
Anexos	**9**	Anexos	Caracterização da unidade de análise deste trabalho, Sistema de Designação de Características Chave da GM – KCDS e os processos de montagem final de veículos.

Na **Introdução** são apresentados os objetivos deste trabalho, a justificativa para a escolha do tema, delimitações do escopo e a estrutura do trabalho.

A **Revisão Bibliográfica** deste trabalho é iniciada no capítulo 2, em que são tratados os seguintes assuntos: Gerenciamento da Qualidade Total, Sistemas de Qualidade e o Mapeamento de Processos Críticos.

A seguir, é abordado o Processo de Desenvolvimento de Produtos e Planejamento de Processos, no contexto da metodologia Engenharia Simultânea.

O capítulo 4 apresenta a Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial – FMEA, sendo que neste trabalho é abordado o FMEA de Processo – PFMEA. São descritos os procedimentos para realizar um estudo de PFMEA, com foco para os processos de montagem final da indústria automotiva. A seguir, são tratadas a formação de equipes PFMEA e a dinâmica dos estudos para obter melhores resultados.

A Revisão Bibliográfica deste trabalho se encerra no capítulo 5, em que são analisadas ferramentas de qualidade e produtividade que auxiliam na elaboração de estudos de PFMEA.

A **Metodologia de Pesquisa** é apresentada no capítulo 6. É adotada uma pesquisa explicativa com metodologia de pesquisa-ação. A metodologia proposta por este trabalho é apresentada, bem como o momento em que ela foi aplicada no processo de desenvolvimento de produtos da organização estudada.

O capítulo 7 mostra a **Aplicação Experimental da Metodologia Proposta** na unidade de análise deste trabalho. São descritos os procedimentos criados para a aplicação da metodologia proposta e como foram criadas equipes para aplicar ferramentas de qualidade e realizar estudos de PFMEA. A seguir, são apresentados três estudos de caso em que a metodologia proposta foi aplicada.

O capítulo 8, referente à **Conclusão**, apresenta os resultados obtidos nos estudos de caso, a análise desses resultados com relação às perguntas feitas no início do trabalho, sugestões para pesquisas futuras e considerações finais do trabalho.

Por fim há **Anexos** caracterizando a unidade de análise deste trabalho e os processos de montagem final da indústria automotiva.

2 GERENCIAMENTO DA QUALIDADE TOTAL

2.1 INTRODUÇÃO

O Gerenciamento da Qualidade Total (*Total Quality Management* - TQM) pode ser definido como uma filosofia, uma forma de pensar e trabalhar que se preocupa com o atendimento das necessidades e das expectativas dos consumidores. O TQM tenta mover o foco da qualidade de uma atividade puramente operacional, transformando-a em responsabilidade de toda a organização. Através do TQM, a qualidade torna-se preocupação de todas as pessoas de uma organização (Slack *et al*, 1997). O TQM estabelece melhoria de qualidade, que é muito importante para a eficiência a longo prazo, sobrevivência e performance financeira de uma organização (Kuei *et al*, 2001; Martins e Carlos de Toledo, 2000; Das *et. al*., 2000).

(Slack *et al*, 1997) afirma que o TQM pode ser visto como uma extensão natural de diferentes abordagens para a qualidade, que podem ser organizadas conforme mostrado na Fig. 2.1 a seguir:

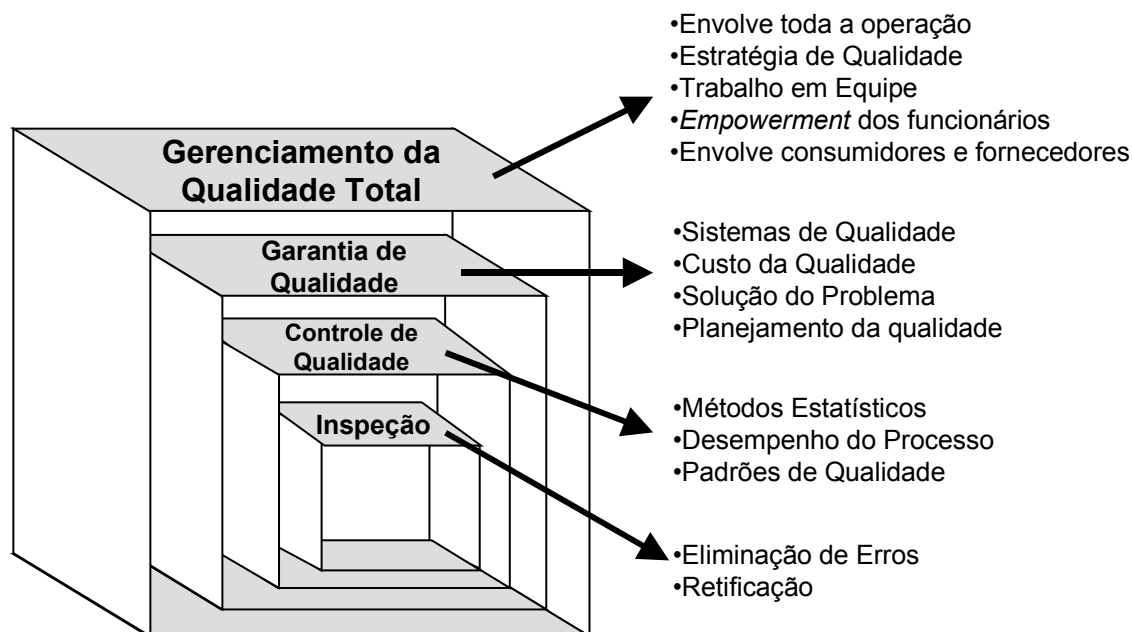



Fig. 2.1: TQM visto como extensão natural de diferentes abordagens da Qualidade (Slack *et al*, 1997).

Outro conceito importante relacionado ao TQM é fazer mais do que descobrir e atender as expectativas dos clientes; É necessário ver as coisas *partindo-se do ponto de vista do cliente*. Isso envolve toda a organização entendendo a importância central dos clientes para seu sucesso e até para sua sobrevivência. Os clientes não são vistos como externos à organização, mas, o que é mais importante, como parte dela. É exigido que sejam criados sistemas para aumentar sua satisfação, e eles são colocados na linha de frente no processo de tomada de decisão para a qualidade. Os clientes são também vistos como seres humanos, ao invés de números e estatísticas, com suas necessidades e expectativas individuais merecendo tratamento atencioso e cortês (Slack *et al*, 1997).

2.2 SISTEMAS E PROCEDIMENTOS DE QUALIDADE

O TQM assume que as organizações necessitam adotar sistemas de qualidade, ou seja, sistemas de controle gerencial que facilitem as melhorias de qualidade. Esses sistemas ajudam a formalizar o que representa a boa prática gerencial (Slack *et al*, 1997).

A norma ISO 9000 (2000) define sistema de qualidade como sendo:

"o conjunto de práticas de negócios e qualidade que uma empresa utiliza para assegurar que ela atende os requisitos dos consumidores".

Conforme (Dale, 1994):

"O sistema da qualidade deve definir e cobrir todas as facetas da operação de uma organização, identificando e atendendo às necessidades e exigências de consumidores, design, planejamento, compras, manufatura, embalagem, estocagem, entrega e serviço, acompanhados das atividades relevantes inerentes a estas funções. Lida com organização, responsabilidades, procedimentos e processos. Em resumo, um sistema de qualidade é boa prática gerencial".

Segundo (Slack *et al*, 1997), a documentação no sistema de qualidade pode ser definida em três níveis:

Nível 1 Manual de qualidade da empresa. Esse é um documento fundamental que fornece um resumo da política de administração da qualidade e do sistema de qualidade, acompanhado dos objetivos da empresa e sua organização.

Nível 2 Manual de procedimentos. Descreve as funções do sistema, a estrutura e as responsabilidades de cada departamento.

Nível 3 Instruções de trabalho, especificações e métodos detalhados para o desenvolvimento das atividades.

Um quarto nível, opcional, é referente a um banco de dados que contenha os demais documentos de referência (formulários, modelos, desenhos, informações, etc.).

2.3 SISTEMAS DE QUALIDADE ISO 9000, QS 9000 E TS 16949

A norma de qualidade da série ISO 9000 teve uma revisão no ano 2000 que a tornou mais orientada para os processos internos de uma organização (conceito conhecido como gerenciamento de processos). Os objetivos de qualidade a serem atingidos passaram a ser determinados por processos, com foco em melhorias contínuas. Aumentou-se o papel da alta gerência e instituiu-se a monitoração da satisfação do cliente (tanto interno quanto externo à organização) e a redução da documentação requerida (NBR ISO 9000, 2000).

A norma QS-9000 é baseada na norma ISO-9000. A QS-9000 foi desenvolvida pelas três grandes montadoras americanas (General Motors, Ford e Chrysler) com o objetivo de definir as expectativas básicas das companhias participantes para os sistemas de qualidade dos fornecedores internos e externos às montadoras de materiais e de peças de produção e reposição. A QS-9000 tem como meta o desenvolvimento de sistemas básicos da qualidade que promovam a melhoria contínua, enfatizando a prevenção de defeito e a redução de variações e desperdícios na cadeia de fornecimento entre montadoras e fornecedores (QS-9000, 1998).

A ISO/TS 16949 (2002) é baseada na ISO-9001 (2000). Em termos gerais, a ISO/TS 16949 é um documento globalmente reconhecido pelo setor automotivo. Esta norma solicita um aumento no compromisso do gerenciamento do fornecedor para melhorias no sistema de qualidade e medidas de desempenho baseadas em dados e

revisões de todo o processo. A ISO/TS 16949 incorpora melhorias constatadas durante a implementação da QS-9000 (General Motos Corporation, Chrysler Group and Ford Motor Company, 2005).

A norma ISO-9000 (2000) está estruturada em 8 requisitos, sendo que o oitavo é referente a medição, análise e melhoria. Faz parte desse requisito a tomada de ações preventivas, que podem ser feitas através da aplicação de técnicas tais como o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), DFM (*Design for Manufacture*), DFA (*Design for Assembly*), Lições Aprendidas (*Lessons Learned*), sistemas à prova de erros (*Error Proofing*), entre outras. O FMEA se tornou um dos mais básicos requisitos do Processo de Aprovação de Peças de Produção (*Production Part Approval Process* - PPAP) que faz parte da QS-9000 (Stamatis, 1996).

O FMEA é requerido na norma ISO/TS 16949 durante o planejamento avançado do produto e do processo, e como resultado de ações preventivas e de melhorias contínuas (ISO/TS 16949, 2002).

2.4 GERENCIAMENTO POR PROCESSOS

2.4.1 A ORGANIZAÇÃO VISTA POR SEUS PROCESSOS

Dentro dos esforços para tornar uma empresa mais competitiva, é necessário considerar que a qualidade contém um aspecto externo referente à satisfação do cliente e um aspecto interno referente à estabilidade e eficiência da organização (Slack *et al*, 1997). Para aumentar a Qualidade em termos do aspecto interno de uma empresa é necessário analisar as suas atividades em termos de processos-chaves, pois esta é a melhor forma para se implementar melhorias.

Um cliente enxerga a empresa que lhe forneceu um produto ou serviço como uma rede de processos interligados que tem como objetivo fornecer o produto ou serviço que ele necessita. As empresas, por sua vez, são geralmente organizadas por departamentos, sendo que cada um tem seus objetivos próprios para implementar melhorias. Esta diferença de pontos de vista tem levado muitas empresas ao insucesso (Rotondaro, 2002).

Um conceito poderoso proveniente do TQM é o gerenciamento por processos, que consiste em utilizar uma metodologia para avaliar, controlar e melhorar continuamente o desempenho dos processos-chave de uma organização com a visão do cliente. Há um amplo envolvimento de todos os integrantes da organização, o que leva a uma maior satisfação no trabalho, mais agilidade para implementar melhorias, redução do tempo de ciclo para realizar todo um processo e redução de custos. Com isto, torna-se possível gerar um produto e serviço que melhor atenda às necessidades do cliente. (Rotondaro, 2002; Slack *et al*, 1997; Galbraith, 1995; Elzinga *et al*, 1995).

2.4.2 DEFININDO PROCESSOS CRÍTICOS

Dentro do conceito de consumidor e fornecedor interno dentro de uma organização, *processo* pode ser definido como sendo uma seqüência de atividades organizadas que transformam as entradas dos fornecedores em saídas para os clientes com valor agregado gerado pela unidade (Slack *et al*, 1997; Rotondaro, 2002).

Um modelo de processo pode ser observado na Fig. 2.2 a seguir:

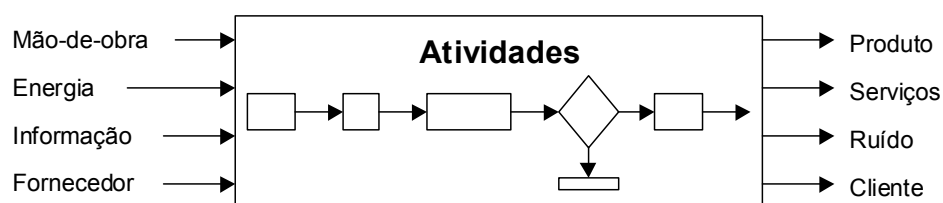



Fig. 2.2: Processo - perspectiva gerencial (Rotondaro, 2002)

Através desse modelo é possível descrever uma organização como sendo um "macroprocesso" que recebe insumos e fornece produtos e serviços aos seus consumidores externos. Esse modelo também pode ser aplicado às atividades internas dos vários setores de uma organização, ou seja, aos seus "microprocessos". Analisando desta forma, todo processo projetado corretamente tem a voz do cliente perfeitamente embutida em todas as fases de execução.

Portanto, a seleção dos processos a serem analisados deve seguir as etapas (Rotondaro, 2002):

- Utilizar a visão do cliente, partindo de objetivos estratégicos de referência: missão da empresa, plano estratégico, cenários;
- Identificar os fatores-chaves que permitem a realização dos objetivos (visão interna): a partir do fluxograma geral, determinar os fatores importantes para a realização do objetivo;
- Selecionar os processos prioritários ou Críticos para Qualidade (CPQ) sempre com a visão do cliente final.

A importância dada ao conceito de gerenciamento de processos no campo da estratégia competitiva de qualidade de uma organização está presente nos requisitos das normas de qualidade. A norma de qualidade ISO 9001 (2001) estimula uma abordagem de processo para o gerenciamento da qualidade e reforça a importância da identificação sistemática e do gerenciamento dos processos empregados dentro de uma organização. A Fig 2.3. a seguir ilustra o modelo de sistema de gerenciamento de qualidade baseado na abordagem de processos (Biazzo e Bernardi, 2003):

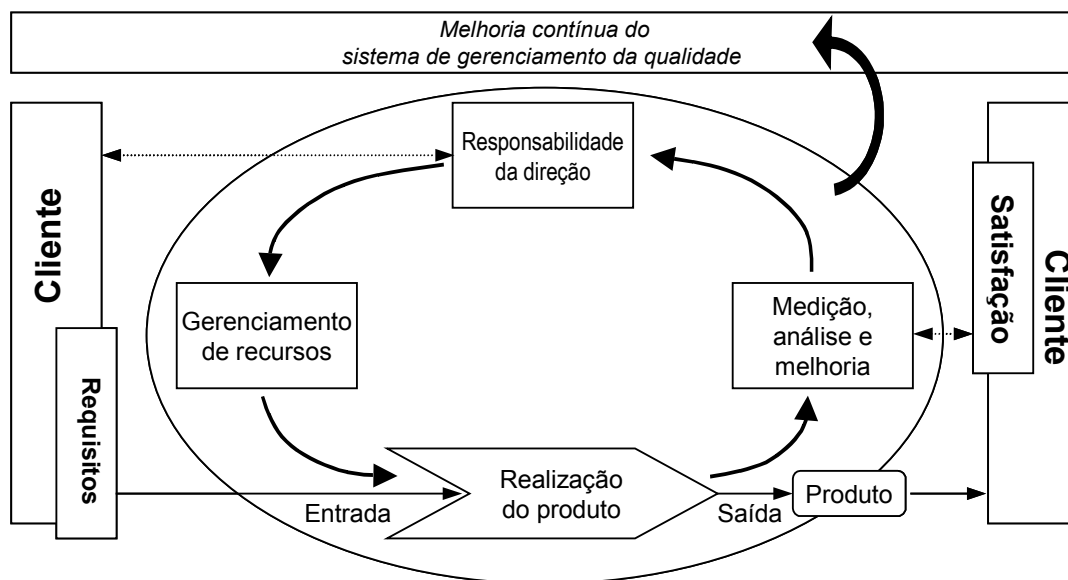



Fig. 2.3: Modelo do sistema de gerenciamento de qualidade baseado em processo (ISO 9001, 2000; Biazzo e Bernardi, 2003).

Este modelo contém 4 elementos, que correspondem a quatro requisitos da norma (Biazzo e Bernardi, 2003):

1. O elemento "responsabilidade da direção" contém os requisitos para desenvolver e melhorar o sistema de qualidade, ouvir a voz do consumidor, formular as políticas de qualidade e planejamento, além de responsabilidades, autoridades e processos de comunicação para facilitar o gerenciamento eficaz de qualidade.
2. O elemento "gerenciamento de recursos" inclui os requisitos para gerenciar tanto os recursos de pessoal e infraestrutura para implementar e melhorar os sistemas de gerenciamento da qualidade e para focar na satisfação do consumidor.
3. O elemento "realização do produto" inclui os requisitos específicos para os processos de realização do produto, que envolve identificar os requisitos dos consumidores, rever requisitos do produto, comunicar com consumidores, projetar e desenvolver produtos, compras, produzir (e/ou liberar) serviços e controlar dispositivos para medição e monitoração.
4. O elemento "medição, análise e melhoria" aborda os requisitos para monitorar a satisfação do consumidor, medindo e monitorando os produtos e processos, gerenciando auditorias internas. Detecta não conformidades e ações de melhorias.

O capítulo da norma ISO 9001 (2001) referente aos requisitos gerais estabelece que, para implementar um sistema de gerenciamento da qualidade, uma organização precisa (Biazzo e Bernardi, 2003):

- Identificar os processos necessários para o sistema de gerenciamento da qualidade;
- Determinar a seqüência e interação desses processos;
- Determinar os critérios e métodos necessários para assegurar a efetiva operação e controle desses processos;
- Assegurar a disponibilidade de recursos e informações necessárias para ajudar na operação e monitoração desses processos;

- Medir, monitorar e analisar esses processos;
- Implementar ações necessárias para atingir resultados planejados e melhorias contínuas desses processos.

2.4.3 MAPEAMENTO DO PROCESSO

Com o objetivo de estudar e melhorar um processo, uma boa forma para representá-lo é através de fluxograma, pois isso força uma compreensão mais detalhada e real do processo. Os elementos básicos do processo são:

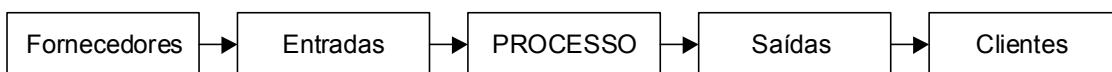



Fig. 2.4: Representação do mapeamento do processo (Rotondaro, 2002)

Elementos:

- **Fornecedores:** quem ou o que fornece o insumo para o processo;
- **Entradas:** matéria-prima, informação, energia, insumos necessários para realizar a atividade;
- **Etapas do processo:** as atividades de transformação do processo em estudo, que devem ser expressas por um verbo (ação) e por um objeto.
- **Saídas:** resultados das transformações efetuadas;
- **Clientes:** o que é crítico para o cliente externo/interno; requisitos do cliente.

Outra forma de representar um processo é através de um conjunto de fatores (causas) que geram uma ou mais respostas (efeitos), podendo ser afetados por fatores não controláveis (ruído). Esta representação pode ser feita através da função matemática Y=F(X), sendo que o fator Y representa o resultado do processo, o desempenho do negócio, o objetivo estratégico, o requisito do cliente, ou seja, a saída do processo. O X significa todas as ações que são efetuadas para alcançar os objetivos do processo, ou seja, são as variáveis de entrada tais como pessoal, tempo, máquinas, tecnologia, etc. Para se melhorar um processo é importante distinguir de forma clara a relação entre o Y e o X, e identificar onde é necessário atuar para se

obter melhorias. A Fig. 2.5 proveniente de (Rotondaro, 2002) representa essa modelagem de processo:

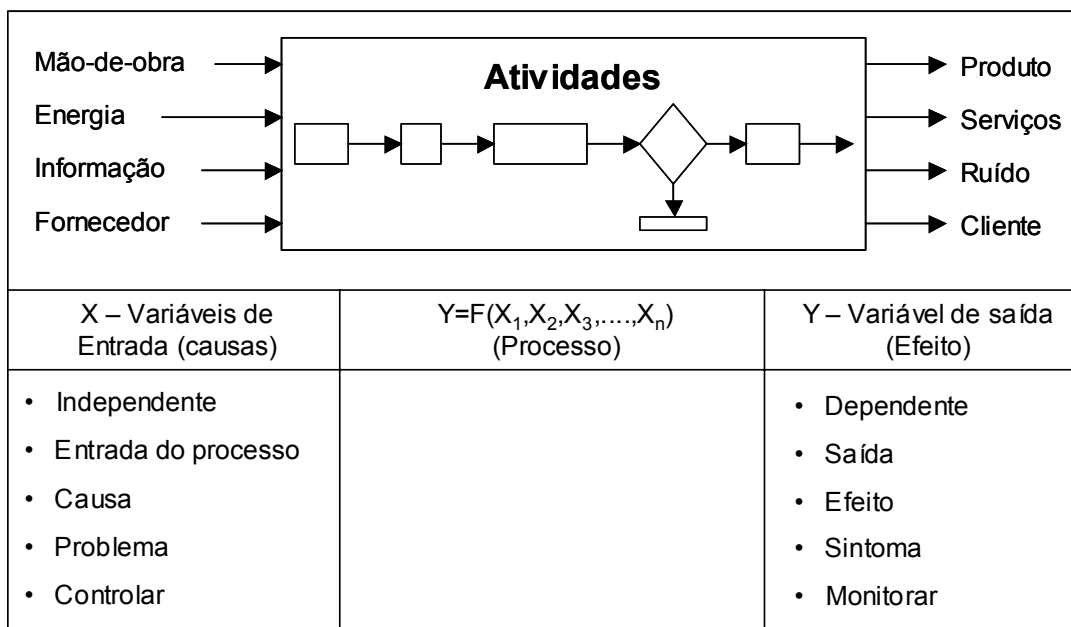



Fig. 2.5: Processo – perspectiva de modelagem (Rotondaro, 2002)

O FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) constitui-se numa importante ferramenta para analisar as causas de variações óbvias ou potenciais de um processo. Através do FMEA são identificadas as variáveis (“Entradas” – X’s) que mais afetam as saídas do processo (Y’s). O FMEA possibilita obter um bom elenco de variáveis importantes, e já listar as que influenciam diretamente as características críticas para a qualidade externa, referentes às necessidades e expectativas do cliente externo (Braz, 2002).

3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

3.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

(Kaminski, 2003) propõe a seguinte conceituação para o processo de desenvolvimento de produtos:

"O processo de desenvolvimento de produto pode ser definido como um conjunto de atividades interligadas, em parte simultâneas, com resultados (marcos ou *gates*) mensuráveis e seqüenciais, envolvendo quase que todos os departamentos da empresa, que tem como objetivo a transformação de necessidades de mercado, explícitas ou implícitas, em produtos e serviços economicamente viáveis".

O processo de desenvolvimento de produtos é feito através de projetos. *Projeto* pode ser definido como uma atividade cujo objetivo é satisfazer as necessidades dos consumidores através do desenvolvimento de produtos e serviços únicos, inovadores. Projetos têm começo, meio e fim, (portanto não são rotineiros) começando com um *conceito* e terminando na tradução desse conceito em uma *especificação* de algo que pode ser produzido (Kaminski, 2000; Slack *et al*, 1997).

A atividade de projeto de produtos e serviços estende-se também aos processos que produzem os produtos e serviços. Portanto, o desenvolvimento de produtos e o projeto (ou planejamento) de processos deveriam ser considerados atividades que se sobrepõem. Esta sobreposição tem sido objeto de estudo devido aos seguintes motivos (Slack *et al*, 1997):

- O projeto de produtos tem efeito importante nos custos de produção. Muitas decisões tomadas durante o projeto de produtos (como por exemplo, escolher o material do qual o produto é feito, o modo como todos os componentes do produto são fixados ou as tolerâncias com as quais o produto é feito) definirão grande parte de seus custos de produção.
- O modo como é gerenciada a sobreposição entre o projeto de produto ou serviço e o projeto do processo tem um efeito significativo sobre o tempo que decorre entre a concepção inicial do produto e serviço e seu lançamento no mercado. Se o gerenciamento da sobreposição entre o projeto do produto ou serviço e o projeto do processo for feito de forma adequada, será possível

reduzir o tempo até o lançamento do produto (*time to market*) permitindo com isso fornecer novos produtos ou serviços aos consumidores antes da concorrência.

3.2 RESOLUÇÃO RÁPIDA DE CONFLITOS

A atividade de projeto implica em uma série de decisões a serem tomadas por diversas áreas de uma organização que participam de sua implementação. O ideal seria que as decisões fossem tomadas no momento correto, após a análise de todas as informações necessárias e com o total consentimento das áreas envolvidas. Mas, na prática, isto é muito difícil de ocorrer.

Portanto, é recomendável antecipar a resolução de conflitos, incertezas e discordâncias que podem surgir no transcorrer do projeto. Além disso, é importante que as decisões iniciais sejam tomadas com o máximo de certeza e consentimento das áreas afetadas, para evitar mudanças posteriores no projeto que trazem como conseqüência aumento no tempo de lançamento do produto no mercado e altos custos adicionais devido a mudanças tardias nas decisões de projeto, que se tornam cada vez mais dispendiosas à medida que o projeto avança.

A Fig. 3.1 ilustra duas diferentes abordagens na atividade de projeto. A curva *A* representa uma abordagem em que houve a antecipação da resolução de problemas, o que faz com que o grau de discordância sobre decisões de projeto, mudanças no projeto e custos devido às mudanças caiam drasticamente após as etapas iniciais da atividade global de projeto. Portanto, a abordagem *A* implica em mais agilidade para o desenvolvimento do produto, pouco tempo para o lançamento no mercado e menores custos devido a mudanças no projeto. Na abordagem *B* não houve a antecipação da resolução de problemas como foi feito na abordagem *A*, o que faz com que o grau de discordância sobre as decisões do projeto, mudanças no projeto e custos decorrentes das mudanças cresçam cada vez mais com o transcorrer do projeto. Como conseqüência, na abordagem *B* o produto levará mais tempo para ser lançado no mercado, além de necessitar de mudanças posteriores no projeto que trazem como conseqüência altos custos (Slack *et al*, 1997).

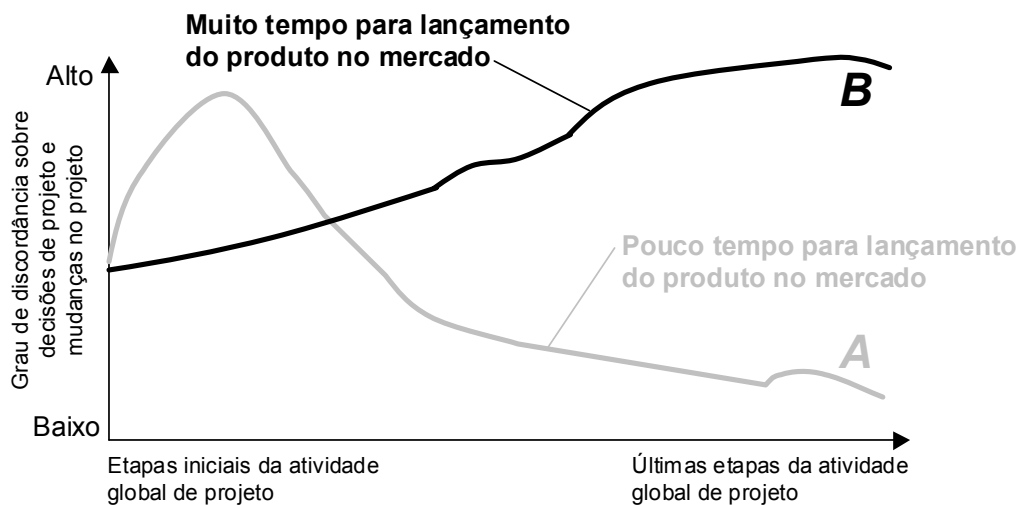



Fig. 3.1: Efeito da antecipação da resolução de conflitos na atividade global de projeto (Slack *et al*, 1997).

Dentro deste conceito, observa-se a importância do comprometimento de diversas áreas de uma empresa (como por exemplo Engenharia de Manufatura, Produção, Qualidade, Design, etc.) desde o início do projeto, participando da tomada de decisão referente ao desenvolvimento de produtos.

3.3 ENGENHARIA SIMULTÂNEA

Atualmente os engenheiros de produto necessitam ser especialistas em diversas áreas. Além das atribuições tradicionais, o engenheiro deverá estar atento à evolução dos produtos, qualidade, economia na fabricação, ótima funcionalidade e viabilidade de montagem (*manufaturabilidade*). Ou seja, além das atividades de engenheiro do produto, é necessário atuar como engenheiro de manufatura, produção, qualidade, etc.

O acúmulo destas habilidades e excelências em um engenheiro de produto (ou mesmo em uma equipe de engenharia de produto) é impraticável. Desta forma, a melhor solução é aplicar a Engenharia Simultânea, ou seja, formar equipes multifuncionais que reúnem conhecimentos e experiências de representantes de diversas áreas, tais como engenharia do produto, manufatura, design, qualidade, confiabilidade, segurança, etc. Estas equipes multifuncionais se beneficiam da experiência dos seus integrantes que têm diferentes pontos de vista dos aspectos de

um projeto, o que previne problemas que poderiam ter sido considerados anteriormente (Bralla, 1996).

As seguintes citações complementam a definição de Engenharia Simultânea:

"Engenharia simultânea significa que as pessoas que projetam ou fabricam produtos trabalham com os mesmos objetivos e o mesmo senso de valores para atacar os mesmos problemas entusiasticamente desde as primeiras fases. Os objetivos são redução do tempo de desenvolvimento, projeto para manufatura, desenvolvimento de produto e desenvolvimento de tecnologias avançadas de produção. A medida comum de valor é a satisfação dos clientes, que é uma das filosofias corporativas da empresa" (Yamazoe, 1990).

"A engenharia simultânea procura otimizar o projeto do produto e do processo de manufatura para conseguir reduzir tempos de desenvolvimento e melhorar a qualidade e os custos através da integração das atividades de projeto e manufatura e da maximização do paralelismo das práticas de trabalho". (Broughton, 1990).

Com base nas citações anteriores, conclui-se que a Engenharia Simultânea é baseada no comprometimento da Engenharia de Manufatura com o desenvolvimento de produto, e também do comprometimento da Engenharia de Produto com o planejamento dos processos de produção do produto. Somente desta forma é possível obter todos os benefícios que a metodologia Engenharia Simultânea tem para oferecer.

Há três níveis de interação que mostram os graus de progresso no time de engenharia de produto-manufatura (Bralla, 1996):

- **1. *Abordagem Tradicional: “Sobre a parede”.*** Engenheiros de produto e engenheiros de manufatura não se comunicam entre si sobre o projeto. Documentos da engenharia de produto são passados para a engenharia de manufatura sem nenhuma revisão feita pelos engenheiros de manufatura.
- **2. *Melhorias: Procedimento de Assinatura.*** Engenheiros de manufatura aprovam e aceitam o projeto depois dele ser completado, antes da liberação para a produção.

- **3.** ***Pensamento Simultâneo: Engenharia Simultânea.*** Engenheiros de produto e de manufatura trabalham juntos em um projeto como um time.

A Fig. 3.2 proveniente de (Rozenfeld e Amaral, 2000) ilustra duas diferentes abordagens para o desenvolvimento de produtos, sendo que na primeira há barreiras entre as diversas áreas de uma organização. Na segunda abordagem, representantes de diferentes áreas de uma organização trabalham em equipe, interagindo entre si e otimizando o desenvolvimento de produtos.

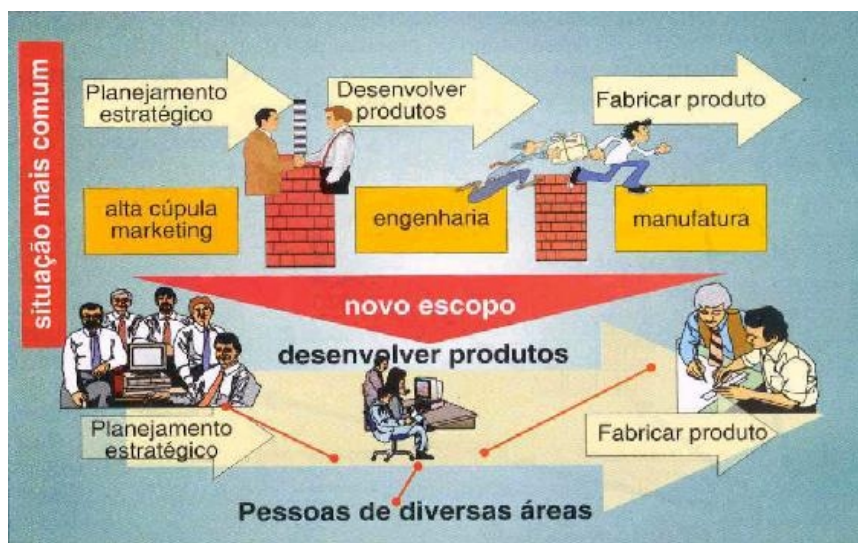



Fig. 3.2: Diferentes abordagens para o desenvolvimento de produtos
(Rozenfeld e Amaral, 2000)

Há quatro elementos chave da engenharia simultânea, de acordo com (Stauffer, 1998):

- **Simultaneidade:** Projeto do produto e planejamento do processo são realizados ao mesmo tempo.
- **Restrições:** As limitações e capacidades dos processos de manufatura disponíveis são consideradas durante a fase do projeto e o projeto do produto é compatível com elas.
- **Coordenação:** Requisitos de produto e processo e outros objetivos são coordenados intensamente durante o processo de projeto.
- **Consenso:** Todo o time de engenharia simultânea participa e se compromete com a maioria das decisões de projeto do produto.

As vantagens da engenharia simultânea estão listadas abaixo:

- Fornece um projeto altamente fabricável com melhorias de segurança, manutenção, qualidade e confiabilidade. O ciclo de projeto do produto é acelerado, pois o projeto tem mais chances de estar correto desde o início do ciclo. A avaliação cuidadosa feita pelo time das diversas alternativas nos estágios iniciais do ciclo do projeto reduz o tempo de desenvolvimento (Welter, 1989).
- Possibilidade de obter um produto superior, pois pessoas com diferentes pontos de vista podem interagir entre si e obter produtos inovadores.
- Maior garantia de compatibilidade do projeto do produto com as capacidades do processo de produção. Restrições das facilidades, equipamentos e ferramentas disponíveis podem ser consideradas no projeto. Isso assegura que as partes e montagens são fáceis de fabricar e montar, e que os recursos dos processos existentes serão utilizados.

Para formar uma equipe de engenharia simultânea é necessário tomar uma série de decisões gerenciais importantes, sendo a primeira decisão o planejamento do momento mais adequado que as atividades de engenharia simultânea deverão iniciar com relação ao transcorrer do projeto.

Os participantes da equipe terão que estar disponíveis para atenderem mais reuniões e atividades em grupo. É necessário prover treinamento adequado aos participantes para que eles estejam alinhados às ferramentas e tecnologias disponíveis na organização. As atividades em grupo deverão ser bem organizadas para serem produtivas, ao pesarem objetivos conflitantes e incorporarem a alternativa de melhor relação custo-benefício no projeto do produto final.

Ao final das atividades, é recomendável avaliar os resultados do projeto e de cada membro da equipe, para que atividades futuras incorporem melhorias.

Alguns cuidados devem ser tomados no planejamento de atividades de engenharia simultânea. Equipes são mais difíceis de gerenciar do que indivíduos, e nem todos os bons projetistas gostam de trabalhar em grupo. Se as reuniões e

atividades em grupo não forem bem organizadas, poderão ser improdutivas e ocupar muito tempo.

DFA (*Design for Assembly*) e FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) podem ser praticados sem um time de engenharia simultânea. Bons projetistas podem fornecer resultados plenamente satisfatórios consultando outros, estudando e aplicando conceitos de projeto por si próprios. O custo de juntar o grupo pode ser considerável, particularmente se a engenharia de produto, produção e outras funções chave de uma organização estiverem localizadas em diferentes prédios.

Apesar destes fatores, a engenharia simultânea é a melhor abordagem, e em alguns casos é a única maneira prática de se obter benefícios do DFA e FMEA. Os problemas para implementação da abordagem, apesar de serem reais, são gerenciáveis. Há para isto alguns recursos tecnológicos tais como simulações virtuais, vídeo/tele conferência e fotos/filmagens digitalizadas que auxiliam nas atividades, minimizam os problemas de juntar os membros do grupo e podem melhorar a comunicação quando os integrantes do time não estão localizados em um mesmo local (Bralla, 1996; Allen, 1986).

Projeto para Montagem (*Design for Assembly* - DFA)

Estudos em empresas automobilísticas e espaciais têm mostrado que o projeto determina de 70 a 80% dos custos de produção (Whitney, 1990). Desta forma, surgiram os conceitos de Projeto para Manufatura (*Design for Manufacturability* - DFM) e Projeto para Montagem (*Design for Assembly* - DFA). Estes dois conceitos podem ser entendidos como metodologias da Engenharia Simultânea cujo objetivo é auxiliar no desenvolvimento de produtos focando a função do projeto, sendo que o DFM otimiza a *manufaturabilidade* e o DFA tem como objetivo facilitar a montagem final (QS 9000, 1998). Em termos gerais, *manufaturabilidade* pode ser entendida como a facilidade com a qual um componente do produto pode ser produzido, o que gera menores custos de produção e maior simplicidade.

Melhorias na montagem geral do produto através da aplicação do DFA são as que geram maiores benefícios, pois a eliminação de peças desnecessárias é uma

importante forma de se reduzir custo. Custos com mão-de-obra, materiais e despesas para produzir peças desnecessárias são eliminados. Outro fator importante é que os custos de mão de obra para os processos de montagem final podem ser o item de maior custo de manufatura para um produto. Desta forma, se a montagem final de um produto for simplificada, serão obtidos importantes ganhos.

Redução de custos não é a única vantagem de um produto com montagem final simplificada, ou seja, com menos peças. A manutenção e a reciclagem também são facilitadas, pois um produto que é fácil de ser montado na fábrica é geralmente fácil de ser desmontado para manutenção ou reciclagem. Montagens mais simples também podem gerar redução de tempo para lançamento do produto no mercado, porque há menos peças para projetar, manusear, inspecionar e estocar. Em alguns casos é necessário inclusive comprar ferramentas ou desenvolver equipamentos para montar peças que não têm função relevante ao funcionamento geral do produto.

Portanto, conclui-se que é mais vantajoso primeiramente simplificar a montagem final do produto. Depois que esta etapa for concluída, será possível observar quais peças do produto final vão permanecer, e através da análise das funções e configurações dessas peças, será possível otimizar todo o produto (Bralla, 1996).

Um princípio básico do DFA apresentado por (Bralla, 1996) é ajustar o projeto do produto ao processo de produção já existente em uma empresa, pois isto reduz investimentos de produção e diminui o tempo para o lançamento do produto ao mercado. Dentro deste mesmo conceito, é recomendável projetar produtos que possam ser montados por equipamentos já disponíveis na fábrica, ou por ferramentas de prateleira disponíveis no mercado.

Outras preocupações que devem ser levadas em consideração através do DFA são: projetar o produto para que seja montado conforme a precedência de montagem da fábrica, pois com isto é possível aproveitar melhor os recursos disponíveis, inclusive no que diz respeito à mão-de-obra e distribuição de trabalho dos montadores. É necessário se preocupar também com a ergonomia de montagem, pois um montador pode ter problemas de saúde se ele tiver que trabalhar em condições antiergonômicas ao montar um determinado componente no produto final.

É importante que todo o grupo responsável pelo desenvolvimento de produtos tenha consciência de que a aplicação das metodologias DFM e DFA não visa simplesmente reduzir a quantidade de peças de um produto. Certas modificações no produto que visam redução de custos podem ser desvantajosas, por prejudicarem muito os processos de montagem (Hart-Smith, 1999).

4 ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL

O FMEA pode ser entendido como uma metodologia de análise sistemática que analisa a confiabilidade de sistemas ao evidenciar, ainda no projeto, as falhas em potencial, procurando identificar todos os possíveis modos e tipos de falha (Kaminski, 2000; Souza, 2004; SAE J-1739, 2002).

Este método é uma das técnicas mais importantes e mais empregadas para enumerar os possíveis modos de falha de um dado componente e, a partir das características de operação do sistema, reconhecer e avaliar os efeitos de cada modo de falha sobre o desempenho e também sobre o usuário do sistema. É possível identificar ações recomendadas que podem eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência da falha potencial (Souza, 2004; Kaminski, 2000; Braz, 2002).

O FMEA é um método empregado na melhoria de projetos de sistemas, na determinação dos pontos vulneráveis no projeto, no projeto do produto e de linhas de produção ("chão de fábrica") e no planejamento de manutenção. A aplicação do FMEA pode promover significativa economia de tempo em atividades de engenharia, e também antecipar problemas para que suas causas sejam combatidas nas etapas iniciais do projeto do sistema, conforme mostrado na Fig. 4.1. O FMEA é um documento dinâmico, que necessita ser sempre atualizado para refletir informações atualizadas sobre o sistema. É recomendável que os estudos de FMEA sejam documentados como lições aprendidas (*lessons learned*) para servirem de referência futura (Souza, 2004; SAE J-1739, 2002).

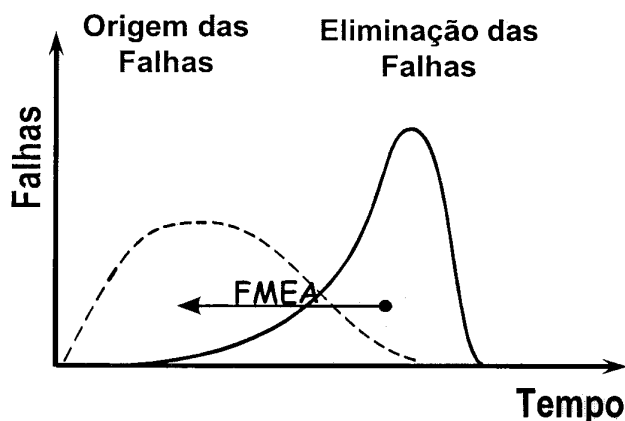



Fig. 4.1: Propósitos da aplicação do FMEA (Souza, 2004)

O método FMEA apresenta basicamente uma natureza qualitativa, embora algumas estimativas de probabilidade de falha possam ser obtidas desta análise.

As principais razões para se utilizar o método FMEA são:

1. A análise fornece ao projetista informações sobre a estrutura do sistema e os principais fatores que influenciam a sua confiabilidade;
2. Definir componentes que influenciam a confiabilidade do sistema como um todo, indicando uma direção para a adoção de ações preventivas no projeto;
3. Verificar componentes e sub-sistemas que devem receber atenção especial quando da montagem, fabricação ou manutenção.

A preocupação em desenvolver produtos e processos aplicando métodos de Confiabilidade tais como o FMEA deve estar associado ao atendimento das necessidades e expectativas dos clientes, o que pode ser obtido com a aplicação de ferramentas tais como o QFD (*Quality Function Deployment*). Dependendo da intensidade de como estas duas variáveis (necessidades "versus" expectativas dos clientes) são tratadas é possível classificar os produtos com relação à qualidade em produtos desastrosos, de baixa confiabilidade, confiáveis mas sem a aceitação do cliente ou produtos excelentes conforme ilustrado na Fig. 4.2 (Souza, 2004). O tipo de produto excelente é o desejado, o qual é obtido através do alto nível de atendimento das necessidades e expectativas do cliente.

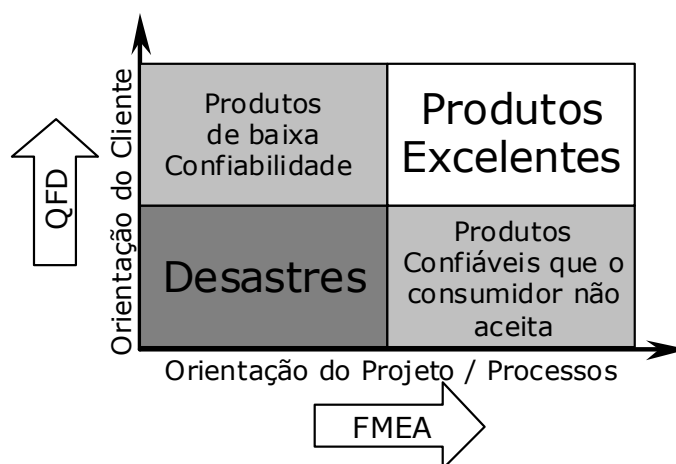



Fig. 4.2: Orientação do cliente em função da Orientação do Projeto / Processos, determinando a qualidade de produtos (Souza, 2004).

Estudos de FMEA devem ser implementados antes de um modo de falha de projeto ou processo ser incorporado ao produto ou processo, ou seja, deve ser uma ação “antes do evento” e não um exercício “após o fato”. O tempo inicial gasto adequadamente ao fazer um estudo de FMEA quando alterações no produto ou processo podem ser implementadas mais facilmente e com menores custos irá minimizar os impactos decorrentes de modificações tardias. É necessário ter consciência que estudos de FMEA não se limitam a preencher o formulário, e sim a estudar o sistema para aumentar sua confiabilidade e com isto buscar a satisfação do cliente (SAE J-1739, 2002).

Um defeito do método FMEA apontado por (Souza, 2004) é que o FMEA não avalia os efeitos da ocorrência simultânea de dois ou mais modos de falha de um sistema. Para estas avaliações, recomenda-se utilizar outras metodologias de Confiabilidade, tais como a Árvore de Falhas.

4.1 FMEA DE PROCESSO - PFMEA (*PROCESS* FMEA)

O FMEA de Processo (PFMEA) é uma técnica analítica aplicada pela Engenharia de Manufatura para identificar os modos de falha potenciais dos processos de produção, avaliar seus efeitos e levantar suas causas. O PFMEA também pode ser considerado como o resumo dos pensamentos da equipe durante o desenvolvimento de um processo e inclui a análise de itens que poderiam falhar baseado na experiência das pessoas e dos problemas passados. Esta abordagem sistemática acompanha, formaliza e documenta a linha de pensamento que é normalmente percorrida durante o processo de planejamento de manufatura (SAE J-1739, 2002).

O PFMEA estabelece ações preventivas e recomendadas antes da fase de corrida-piloto de implementação do produto na fábrica. Para se fazer um estudo de PFMEA é necessário levar em consideração os seguintes fatores relacionados a um processo: mão de obra, ferramentas e equipamentos, métodos de trabalho, materiais, sistemas de medição e ambiente de trabalho. Estes fatores podem agir individualmente ou interagir entre si de modo a gerar uma falha (Stamatis, 1995).

É difícil avaliar um processo de produção nos estágios iniciais, ou seja, no início de produção. Na maioria dos casos, a avaliação do processo se desenvolve com o passar do tempo. Portanto, o PFMEA pode ser considerado um documento vivo, dinâmico, que deve ser atualizado freqüentemente para refletir as mudanças no processo (SAE J-1739, 2002; Stamatis, 1995).

Recomenda-se que o PFMEA seja iniciado antes ou durante o estágio de viabilidade do projeto e antes do desenvolvimento de ferramentas de produção. Deve-se levar em consideração todas as operações de manufatura, desde a produção dos componentes individuais até as operações de montagem (SAE J-1739, 2002).

O objetivo do PFMEA é gerar um processo com uma configuração básica e especificações funcionais através da tradução de requisitos estabelecidos em características de produto ou montagem detalhados qualitativamente e quantitativamente (Stamatis, 1995).

O PFMEA avalia os efeitos potenciais das falhas para o cliente. O cliente é definido como sendo não somente o usuário final do produto, mas também uma operação subseqüente do processo de manufatura, uma operação de assistência técnica ou regulamentações governamentais (SAE J-1739, 2002).

Além destes aspectos, o PFMEA (SAE J-1739, 2002):

- Identifica as funções e requisitos do processo;
- Identifica os modos de falha potenciais relacionados ao produto e ao processo;
- Avalia os efeitos potenciais das falhas para o cliente;
- Identifica as causas potenciais de falhas no processo de manufatura ou montagem e as variáveis que deverão ser controladas para redução da ocorrência ou melhoria da eficácia e detecção das falhas;
- Identifica as variáveis do processo para enfocar os controles de processo;
- Classifica modos de falha potenciais, estabelecendo assim um sistema de priorização para a tomada de ações preventivas / corretivas;
- Documenta os resultados do planejamento de manufatura ou montagem.

O propósito do PFMEA é definir, demonstrar e maximizar as soluções de engenharia para atender os requisitos de qualidade, confiabilidade, manutenabilidade, custo e produtividade referentes às necessidades e expectativas dos consumidores. Estas informações, por sua vez, são obtidas através de estudos de QFD (*Quality Function Deployment* – Desdobramento da Função Qualidade) ou através dos resultados de um FMEA de Projeto (*Design* FMEA – DFMEA) (Stamatis, 1995).

4.2 DESENVOLVIMENTO DE UM PFMEA

Para o desenvolvimento de um PFMEA é necessário utilizar um formulário padrão e um conjunto de critérios de avaliação com índices. No setor automotivo, os formulários e critérios de avaliação mais utilizados estão disponíveis em (SAE J-1739, 2002).

Durante o desenvolvimento de um PFMEA a equipe responsável deve ter consciência de que não basta somente preencher o formulário, é necessário ter consciência da importância do PFMEA para identificar os itens críticos que um processo pode apresentar, para reduzir os efeitos e a ocorrência, tomando ações para aumentar a detecção dos modos de falha (SAE J-1739, 2002).

A Fig. 4.3 representa uma seqüência lógica para realizar estudos de PFMEA. Esta figura foi elaborada pelo autor deste trabalho, tendo como referência a seqüência de análise de FMEA de (SAE J-1739, 2002).As colunas do formulário são preenchidas com base nesta seqüência lógica, conforme procedimentos descritos a seguir:

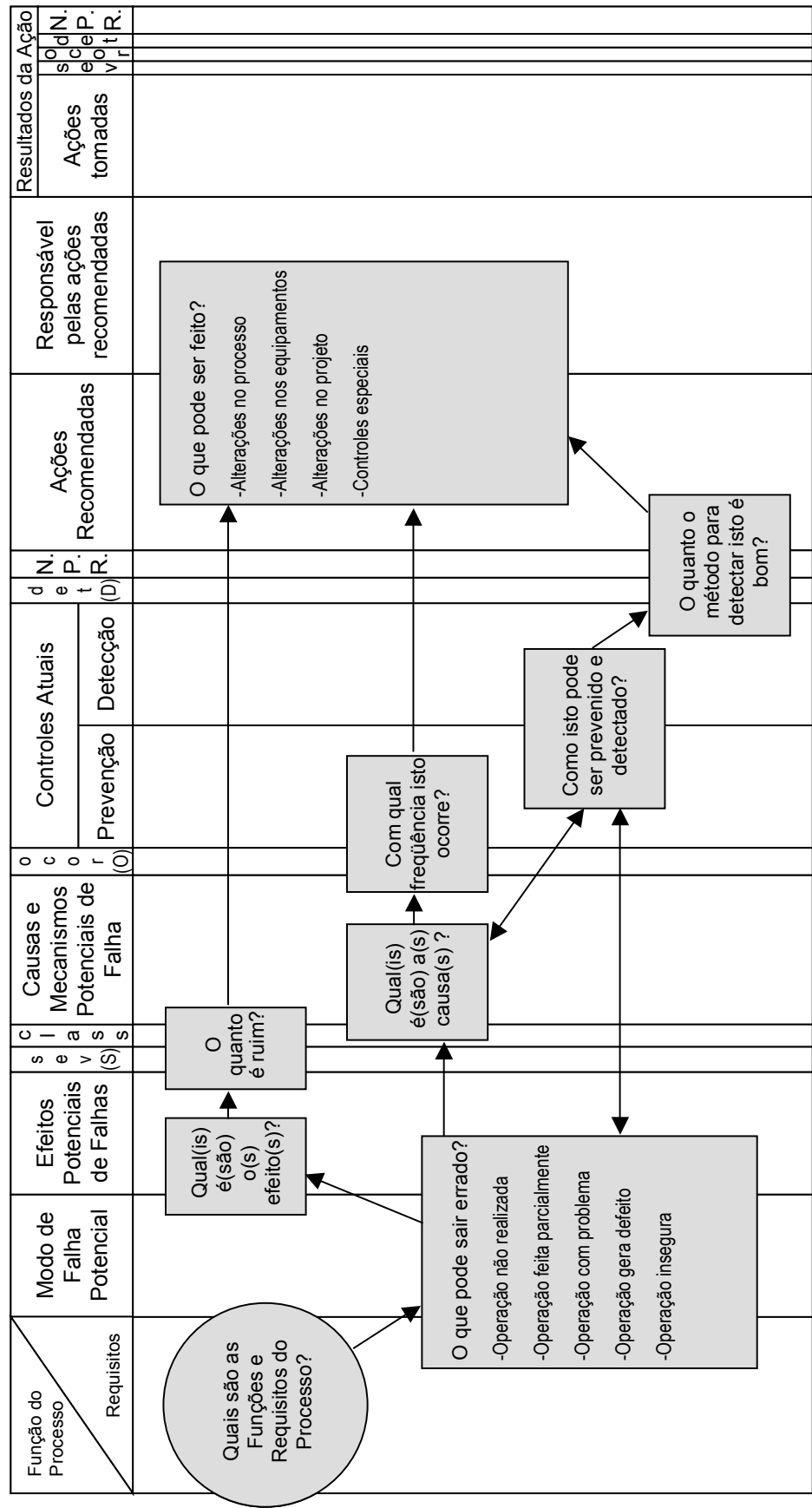



Fig. 4.3: Seqüência para execução de um estudo de PFMEA

Função do Processo / Requisitos:

Descrição simplificada do objetivo do processo ou operação em análise. A função do processo deve ser originada das especificações do projeto e do *processo real*, e não como o processo *deveria ser*.

Para que a função do processo seja eficaz, é necessário que seja identificada detalhadamente através de uma frase concisa, que não seja jargão. É recomendável escrever na forma *verbo de ação* mais *substantivo adequado*, pois o verbo de ação define performance, que por sua vez define função. Nesta coluna deve-se especificar informações técnicas sobre o projeto do sistema, subsistema ou componente e quantificar.

Outra forma de facilitar a elaboração da função é fazer perguntas do tipo "Qual é o propósito, objetivo ou função do processo?" "O processo é destinado a fazer o quê?" Para os processos que envolvem uma série de operações, como por exemplo os processos de montagem, é recomendável listar cada uma das funções separadamente, porque geralmente elas têm diferentes modos de falha potenciais (Stamatis, 1995).

Geralmente, a função do processo é identificada através de um diagrama de fluxo de processo seguido por uma análise de micro movimentos. O diagrama de fluxo de processo identifica seqüencialmente o fluxo de operações entre operadores e a interação entre os operadores e os equipamentos de montagem (Stamatis, 1995; Slack *et al*, 1997).

Da mesma forma, a análise de micro movimentos serve como base para a análise de carga de trabalho ao definir a seqüência específica de micro movimentos que cada operador do processo executa. Esta análise é importante, pois distribuições ineficientes de carga de trabalho podem resultar em aumento de erros humanos e conseqüentemente, problemas críticos de segurança (Bass, 1991).

Caso sejam feitas alterações no método de trabalho, é necessário atualizar o diagrama de fluxo de processo e a análise de micro movimentos. Em seguida, atualizar o estudo de PFMEA, iniciando pela coluna *Função do Processo / Requisitos* (Stamatis, 1995; SAE J-1739, 2002), conforme mostrado na Fig. 4.3.

Modo de Falha Potencial:

O modo de falha potencial pode ser entendido como um problema, defeito, não conformidade ou maneira pela qual a função do processo potencialmente falharia ao atender os requisitos do processo e/ou objetivo do projeto. O modo de falha potencial pode também ser entendido como sendo uma perda de função do processo, ou seja, uma falha específica.

É recomendável escrever cada modo de falha da função do processo de modo bem específico, pois desta forma serão maiores as possibilidades para identificar suas causas e efeitos. Devem ser considerados todos os modos de falha que possam ocorrer, mesmo aqueles que tenham pouca possibilidade. A ênfase está em determinar *como* a função do processo pode possivelmente falhar, e não *se* irá falhar.

O modo de falha potencial é uma descrição de uma não conformidade em uma operação específica, que pode estar associada com o modo potencial de falha de uma operação subseqüente (saída da operação) ou ao efeito associado a uma falha potencial de uma operação anterior (entrada da operação). Porém, na preparação do estudo de PFMEA é suposto que os materiais ou peças vindos de operações anteriores estão corretos. Exceções podem ser feitas caso seja constatado que dados históricos indiquem deficiências na qualidade do produto proveniente de operações anteriores.

As perguntas que devem ser feitas para determinar os modos de falha são: "Como o processo ou peça montada pode falhar ao atender as especificações?" e "Além das especificações de engenharia, o que um cliente (usuário final, operações subseqüentes ou assistência técnica) consideraria como falha?"

É necessário comparar processos similares e analisar criticamente reclamações dos clientes (usuário final e operações subseqüentes) relativas aos componentes similares. Adicionalmente, é necessário conhecer o objetivo do projeto. O modo de falha apresenta-se como uma situação concreta, em geral fisicamente observável. É recomendável que os modos potenciais de falha sejam escritos em termos físicos ou técnicos, e não como um sintoma evidenciado pelo cliente.

Alguns exemplos de modos de falha potenciais típicos são: Dobrado, Rachado, Danificado no manuseio, Deformado, Furo deslocado, etc. (Stamatis, 1995; SAE J-1739, 2002; Braz, 2002)

Efeito Potencial da Falha:

O efeito potencial da falha é definido como o impacto do modo de falha no cliente. No caso do cliente sendo o usuário final do produto, o efeito potencial da falha geralmente é formulado em termos do desempenho do sistema ou produto, enquanto que no caso do cliente sendo uma operação subseqüente do processo de manufatura, uma operação de reparo ou de assistência técnica, o efeito potencial da falha é formulado em termos do desempenho da operação / processo.

É necessário definir claramente se o modo de falha poderia influenciar na segurança do usuário final do produto ou do operador do processo. Em seguida, é necessário identificar o impacto sobre os requisitos do cliente, descrevendo os efeitos da falha em termos do que seria observado ou experimentado pelo cliente (SAE J-1739, 2002; Braz, 2002).

As perguntas que geralmente são feitas para levantar os efeitos potenciais da falha são: "O que o cliente experimenta como resultado do modo de falha descrito?" e "O que acontece ou quais são os desdobramentos deste problema ou falha?" Os documentos geralmente utilizados para identificar os efeitos potenciais da falha são dados históricos, documentos de garantia, reclamações de clientes, estudos anteriores de FMEA, etc. (Stamatis, 1995).

Uma consideração importante sobre o efeito da falha é que o engenheiro de processo deve interagir com o engenheiro de produto para descrever corretamente os efeitos de uma falha potencial do processo no componente do produto, processo ou montagem (Stamatis, 1995; Bass, 1991; Blanchard, 1986).

Alguns exemplos de efeitos do modo de falha no usuário final do produto são: Barulho, esforço na operação, operação intermitente, vazamento, aparência desagradável, etc.

Alguns exemplos de efeitos do modo de falha sobre a operação subseqüente, produtividade ou operador são: não dá aperto, não monta, danifica o equipamento,

danifica a ferramenta, não encaixa, não conecta, quebra o componente, põe o operador em risco, acarreta parada produtiva, etc. (SAE J-1739, 2002).

Severidade (S):

É uma classificação associada ao efeito mais grave para um dado modo de falha. Para esta classificação, é necessário escolher o campo que melhor caracteriza o efeito analisado, tanto para o usuário final do produto como para operações subseqüentes, produtividade ou operador. Caso um modo de falha tenha efeitos para os dois tipos de clientes do processo, deve-se utilizar o caso mais grave.

Para fazer a classificação do índice de severidade é utilizada uma tabela que contém uma escala que varia de 1 a 10. Quanto maior o valor, mais grave é o efeito do modo de falha. A classificação do critério de severidade do PFMEA sugerido por (SAE J-1739, 2002) está representada na Tabela 4.1.:

(SAE J-1739, 2002) recomenda não modificar o critério de classificação para valores de severidade 9 e 10 devido à gravidade do efeito do modo de falha. Por outro lado, modos de falha com índice de severidade 1 não necessitam mais ser analisados.

Uma redução no índice de severidade só pode ser feita através de uma alteração no projeto do produto ou através de um novo projeto para o processo (Stamatis, 1997; SAE J-1739, 2002).

Tabela 4.1: Critério de Avaliação de Severidade Sugerido da FMEA de Processo (PFMEA) (QS-9000, 1998 / SAE J-1739, 2002)

Efeito	**Critério**: Severidade do Efeito Esta classificação é o resultado de quando um modo de falha potencial resulta em um defeito no cliente final e ou na planta de manufatura /montagem. O cliente final deveria ser sempre considerado primeiro. Se ambos ocorrerem, usar a maior das duas severidades. (Efeito no Cliente)	**Critério:** Severidade do Efeito Esta classificação é o resultado de quando um modo de falha potencial resulta em um defeito no cliente final e/ou na planta de manufatura / montagem. O cliente final deveria ser sempre considerado primeiro. Se ambos ocorrerem, usar a maior das duas severidades. (Efeito na Manufatura / Montagem)	**Índice de Seve- ridade**
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental **sem** aviso prévio.	Ou pode pôr em perigo o operador (máquina ou montagem) **sem** aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental **com** aviso prévio.	Ou pode pôr em perigo o operador (máquina ou montagem) **com** aviso prévio.	9
Muito alto	Veículo/item inoperável (perda das funções primárias).	Ou 100% dos produtos podem ter que ser sucatados, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo maior que **uma** hora.	8
Alto	Veículo/Item operável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	Ou os produtos, podem ter que ser selecionados e uma parte (menor que 100%) sucatada, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de re- paro entre **0,5** hora a **1** hora.	7
Moderado	Veículo/Item operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência inoperável(is). Cliente insatisfeito.	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos podem ter que ser sucatados sem seleção, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo menor que **0,5** hora.	6
Baixo	Veículo/item operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência operável(eis) com níveis de desempenho reduzidos.	Ou 100% dos produtos podem ter que ser retrabalhados, ou o veículo/item reparado fora da linha mas não vai para o departamento de reparo.	5
Muito baixo	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%).	Ou os produtos podem ter que ser selecionados, sem sucateamento, e urna parte (menor que 100%) ser retrabalhada.	4
Menor	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes.	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos podem ter que ser retrabalhados, sem sucateamento, na linha mas fora da estação.	3
Muito menor	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos que 25%).	Ou uma parte (menor que 1 00%) dos produtos podem ter que ser retrabalhados, sem sucateamento, na linha e dentro da estação.	2
Nenhum	Sem efeito identificado.	Ou pequena inconveniência no operador ou na operação, ou sem efeito.	1

Classificação de Características Especiais

Todas as características do produto e do processo são importantes e precisam ser controladas. Entretanto, algumas características referenciadas como "especiais" exigem atenção extra, pois variações excessivas nas mesmas podem

afetar a segurança, o atendimento às regulamentações governamentais, montagem, função, aparência ou qualidade das operações subseqüentes da fabricação do produto (QS-9000, 1998). Portanto, as funções do processo que tiverem características especiais deverão ser identificadas através de símbolos, preenchidos nesta coluna. Vide o “Anexo B” deste trabalho sobre o Sistema de Designação de Características Chave da General Motors – KCDS.

Características especiais do produto são geralmente relacionadas ao FMEA de Projeto (DFMEA) porque a estrutura do produto começa a ser formalizada na etapa de projeto. Porém, no FMEA de processo (PFMEA), as características especiais se tornam de grande importância porque elas definem os requisitos de processo, seqüência de montagem, ferramental e tudo que pode afetar o consumidor final do produto ou regulamentações governamentais (Stamatis, 1995).

Causa e Mecanismo Potencial da Falha:

A causa potencial da falha é definida como a forma pela qual a falha pode ocorrer, relacionada com alguma coisa que deve ser corrigida ou controlada para liquidar a falha (SAE J-1739, 2002). Em outras palavras, a causa potencial da falha pode ser entendida como a deficiência no processo que resulta no modo de falha. É necessário descobrir a causa raiz da falha, e não o sintoma que a falha apresenta (Stamatis, 1995).

É necessário listar da forma mais completa possível todas as causas de falha para cada modo de falha potencial. Para que isto seja feito é necessário conhecer bem o processo e o produto que está sendo produzido. Em seguida, são feitas perguntas para especificar bem as causas raízes da falha, tais como: "De que forma este sistema falha ao executar a função desejada?" "Quais circunstâncias podem causar a falha?" ou "Como ou por que o componente pode falhar ao atender as especificações de engenharia?".

É recomendável que a equipe utilize técnicas como o 5 por quês, *brainstorming* e o diagrama de causa e efeito para levantar todas as causas raízes das falhas.

A seguir são listados alguns exemplos de causas de falhas típicas:

- Torque indevido – alto, baixo;
- Solda incorreta – corrente (amperagem), tempo, pressão;
- Falta de exatidão dos meios de medição;
- Tratamento térmico incorreto – tempo, temperatura;
- Fechamento ou ventilação inadequados;
- Lubrificação inadequada ou sem lubrificação;
- Peça faltante ou montada inadequadamente;
- Posicionador gasto ou lascado;
- Ferramental gasto ou quebrado;
- Preparação inadequada da máquina;
- Programação inadequada.

Devem ser listados somente erros específicos (por exemplo: operador erra ao posicionar o dispositivo de montagem), ao invés de frases genéricas ou ambíguas (por exemplo: erro do operador, mau funcionamento da máquina, etc.).

Um grande benefício do PFMEA é a identificação dos modos de falha potenciais causadas tanto pelo processo quanto por interações entre os componentes. Essas interações podem envolver fatores humanos que também necessitam ser considerados.

Para modos de falha com severidade dos efeitos elevado (entre 8 a 10) é necessário aumentar os esforços para identificar a maior quantidade de causas possíveis.

Ocorrência (O):

É a probabilidade que um mecanismo / causa específica de falha irá ocorrer. Avalia, ao mesmo tempo, a probabilidade de ocorrência da causa de falha e, uma vez que a causa ocorra, a probabilidade que ela gere a falha em si. A classificação deste fator está descrita na Tabela 4.2. (SAE J-1739, 2002).

Para os processos de montagem final, uma forma para se obter o índice de ocorrência de uma falha é consultar estações subseqüentes de inspeção ou verificação. Outra forma é consultar dados de serviços de garantia.

A única maneira de reduzir o índice de ocorrência de um modo de falha é prevenindo ou controlando os mecanismos ou causas de falha através de uma alteração no projeto do produto ou processo (Stamatis, 1997; SAE J-1739, 2002).

Tabela 4.2: Critério de Avaliação de Ocorrência sugerido da FMEA de Processo (QS-9000, 1998 / SAE J-1739, 2002)

Probabilidade	Taxas de falha possíveis	Índice de Ocorrência
Muito alta: Falhas Persistentes	≥ 100 por mil peças	10
	50 por mil peças	9
Alta: Falhas freqüentes	20 por mil peças	8
	10 por mil peças	7
Moderada: Falhas ocasionais	5 por mil peças	6
	2 por mil peças	5
	1 por mil peças	4
Baixa: Relativamente poucas falhas	0,5 por mil peças	3
	0,1 por mil peças	2
Remota: Falha é improvável	≤ 0,01 por mil peças	1

Controles Atuais do Processo:

São descrições dos controles que podem detectar ou prevenir, na medida do possível, a ocorrência do modo de falha ou do mecanismo / causa da falha. Estes controles podem ser os controles de processo como o Controle Estatístico de Processo (CEP), dispositivos a prova de erros ou verificações após o processo. A avaliação pode ocorrer na própria operação, ou em operações subseqüentes. O foco está na eficiência do método de controle detectar os problemas para que eles não cheguem até o consumidor.

Existem dois tipos de Controles de Processo: a prevenção e a detecção. A prevenção previne a ocorrência do mecanismo / causa do modo de falha, ou que

reduz o seu índice de ocorrência. A detecção detecta o mecanismo / causa do modo de falha e conduz a ação corretiva.

É recomendável utilizar preferencialmente os controles de prevenção sempre que possível. Os índices de ocorrência iniciais serão reduzidos devido aos controles de prevenção desde que eles sejam incorporados como parte do objetivo do projeto. Os índices de detecção iniciais serão baseados nos controles de processo que detectem o mecanismo / causa da falha ou modo de falha.

O formulário de PFMEA de (SAE J-1739, 2002) contém duas colunas para os controles de processo, sendo que uma é destinada para os Controles de Prevenção e a outra para os Controles de Detecção. Isto auxilia a equipe em distinguir claramente estes dois tipos de controles de processo, para verificar se ambos os tipos de controle foram considerados.

Detecção (D):

Detecção é a classificação associada ao melhor controle de detecção listado na coluna de Controle de Processo. A classificação de Detecção sugerida por (SAE J-1739, 2002) está representada na Tabela 4.3. Esta coluna está relacionada com a probabilidade do controle de processo atual detectar a causa raiz de um modo de falha para prevenir que produtos com falha sejam expedidos ao cliente. Deve-se assumir que a falha já ocorreu (Stamatis, 1995; Braz, 2002).

Ao determinar o índice de Detecção, não é correto assumir que a detecção é baixa somente porque a freqüência de ocorrência é baixa. As duas classificações podem ou não estar correlacionadas entre si para este critério em particular

Se uma verificação é feita automaticamente em 100% da produção, o time de FMEA deverá considerar a eficácia da detecção baseada nas condições e calibração do equipamento de verificação e teste.

Tabela 4.3: Critério de Avaliação de Detecção sugerido por (SAE J-1739, 2002) para o PFMEA.

Detecção	Critério	Tipos de Inspeção			Faixas Sugeridas dos Métodos de Detecção	Índice de Detecção
		A	B	C		
Quase impossível	Certeza Absoluta da não detecção			X	Não pode detectar ou não é verificado.	10
Muito Remota	Controles provavelmen-te não irão detectar			X	Controle é alcançado somente com verificação aleatória ou indireta.	9
Remota	Controles têm pouca chance de detecção			X	Controle é alcançado somente com inspeção visual.	8
Muito baixa	Controles têm pouca chance de detecção			X	Controle é alcançado somente com dupla inspeção visual.	7
Baixa	Controles podem detectar		X	X	Controle é alcançado com métodos gráficos, tais como CEP (Controle estatístico do processo).	6
Moderada	Controles podem detectar		X		Controle é baseado em medições por variáveis depois que as peças deixam a estação, ou em medições do tipo passa/não-passa feitas em 100% das peças depois que deixam a estação.	5
Moderadamente Alta	Controles têm boas chances de detectar	X	X		Detecção de erros em operações subseqüentes, ou medições feitas na preparação de máquina e na verificação da primeira peça (somente para casos de preparação de máquina).	4
Alta	Controles têm boas chances de detectar	X	X		Detecção de erros na estação, ou em operações subseqüentes por múltiplos níveis de aceitação: fornecer, selecionar, instalar, verificar. Não pode aceitar peça discrepante.	3
Muito Alta	Controles quase certamente detectarão	X	X		Detecção de erros na estação (medição automática com dispositivo de parada automática). Não pode passar peça discrepante.	2
Quase Certa	Controles certamente detectarão	X			Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item foi feito a prova de erros pelo projeto do processo / produto.	1

Tipos de Inspeção: A: À Prova de Erro; B: Medição e C: Inspeção Manual.

Caso a inspeção seja 100% visual e manual (não automatizada), a equipe PFMEA deverá considerar a eficácia de Detecção baseada nos seguintes aspectos:

- 100% de inspeção visual corresponde somente de 79 a 100% efetivos dependendo do inspetor e das condições de inspeção

- O procedimento de inspeção deve ser bem planejado, bem como o treinamento dos inspetores para que a eficácia de Detecção seja aumentada.
- Deve-se levar em consideração a natureza da falha. Falhas difíceis de serem detectadas requerem inspetores bem treinados, bons métodos de detecção e equipamentos adequados.

Verificações aleatórias de qualidade não são eficazes para a detecção de defeitos isolados e deveriam não ser consideradas no índice de detecção. Porém, amostragens feitas em base estatística (tais como o Controle Estatístico do Processo - CEP) são válidas como controle de detecção (SAE J-1739, 2002).

Número de Prioridade de Risco (NPR):

O Número de Prioridade de Risco (NPR) é o indicador geral da importância da falha resultante da composição dos três índices já definidos. É calculado pelo produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D), admitindo valores de 1 a 1000:

(S) x (O) x (D) = NPR

Este valor serve como critério de priorização das ações de melhoria que devem ser desenvolvidas. Os itens com NPR mais altos são os que requerem maior prioridade na tomada de ações recomendadas (Braz, 2002; SAE J-1739, 2002).

A definição do limite do NPR é uma decisão da gerência da empresa, baseada em recomendações dos responsáveis pelo PFMEA. Na Corporação General Motors, modos de falhas com valores de NPR iguais ou superiores a 125 não são admissíveis, requerendo obrigatoriamente a tomada de ações recomendadas com o objetivo de reduzir o NPR.

Ações Recomendadas:

Os modos de falha que possuem maior severidade e alto valor de NPR são os que prioritariamente necessitam de ações recomendadas. O objetivo das ações recomendadas é reduzir os índices na seguinte ordem: Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D).

A Severidade pode ser reduzida somente através de mudanças no projeto do produto ou processo. Como prática geral, quando este índice possui valor 9 ou 10, é necessário solicitar alterações no projeto do produto, reprojetar o processo ou tomar ações preventivas ou corretivas, independente do valor de NPR.

Caso houver a possibilidade de que o efeito de um modo de falha potencial seja perigoso aos operadores do processo (montadores), ações corretivas ou preventivas devem ser tomadas para eliminar ou controlar a causa raiz, evitando desta forma o modo de falha. Outra ação recomendada é especificar equipamentos de proteção adequados aos operadores para que eles trabalhem com segurança.

Para reduzir o índice de ocorrência, são necessárias revisões no projeto e / ou no processo. É recomendável realizar estudos dos processos através de métodos estatísticos para a obtenção de informações importantes das operações na prevenção de defeitos e melhoria contínua do processo.

Outra forma de reduzir o índice de Ocorrência é através de melhorias nas especificações de engenharia e / ou melhorias nos requisitos do processo, com o objetivo de prevenir a ocorrência das causas das falhas ou reduzir sua freqüência.

O método preferencial para alcançar uma redução no índice de detecção é o uso de métodos à prova de erro / falha. Geralmente a melhoria dos controles de detecção agrega custos ao produto e é ineficaz na melhoria da qualidade. O aumento da freqüência de inspeção no controle da qualidade não é uma ação corretiva / preventiva eficaz e deveria apenas ser usada como uma medida temporária, uma vez que a ação corretiva / preventiva permanente é requerida.

Em alguns casos, uma alteração no projeto de uma peça específica pode ser necessária para auxiliar na detecção. Alterações no sistema atual de controle podem ser implementadas para aumentar esta probabilidade. Entretanto, a ênfase deve ser dada em ações de prevenção da ocorrência do defeito ao invés da detecção do mesmo. Um exemplo seria o uso do Controle Estatístico do Processo associado à melhoria contínua do processo ao invés de inspeções ou verificações aleatórias da qualidade (SAE J-1739, 2002).

Responsável pela ação recomendada, Ação Tomada e Resultados da Ação:

Após o levantamento das ações recomendadas, é necessário que alguém (geralmente o engenheiro responsável pelo processo) faça o acompanhamento para verificar se as ações recomendadas estão sendo executadas. Conforme as ações sejam executadas, é necessário atualizar o estudo de PFMEA para que o documento esteja refletindo sempre o último nível do projeto e do processo.

Para assegurar que as deficiências do processo estão sendo identificadas e que ações estão sendo tomadas, é recomendável pelo menos:

- Assegurar que os requisitos do processo e do produto estão sendo atendidos;
- Analisar criticamente os desenhos de engenharia, especificações do processo e do produto e o fluxograma do processo;
- Confirmar a incorporação das mudanças na documentação de montagem e manufatura, como por exemplo as Folhas de Operação e Diagramas de Fluxo de Processo;
- Analisar criticamente as instruções de operação.

Conforme as ações recomendadas sejam executadas, é necessário preencher estes campos para calcular um novo valor de NPR, desta vez considerando a influência das ações recomendadas na determinação dos novos valores de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). O NPR resultante deverá ser menor do que o anterior (SAE J-1739, 2002).

4.3 FORMAÇÃO E DINÂMICA DE EQUIPES FMEA

O FMEA apresenta melhores resultados quando desenvolvido em equipe. A participação de especialistas provenientes de diferentes áreas de uma organização com experiência no sistema em estudo faz com que surja um maior número de informações e considerações, aumentando o escopo e a profundidade da análise. Sem dúvida, a troca de experiências entre os integrantes da equipe e o aprendizado em conjunto são benefícios importantes do uso desta ferramenta (Braz, 2002; Stamatis, 1995). Equipes multifuncionais necessitam de pessoas que são generalistas e que

cooperam entre si, pois organizações flexíveis requerem pessoas flexíveis (Galbraith, 1995).

As equipes deverão ser constituídas por 5 a 9 integrantes (de preferência 5). Todos os participantes necessitam ter algum conhecimento sobre o comportamento de grupos, da tarefa a ser executada e do problema a ser discutido. Necessitam estar envolvidos diretamente ou indiretamente com o problema e dispostos a ajudar.

A equipe deverá ser formada por indivíduos que estão comprometidos em atingir um objetivo organizacional comum. Eles devem se reunir regularmente para identificar, propor idéias, solucionar problemas através de análise ou técnica apropriadas e melhorar o processo produtivo. Devem trabalhar e interagir entre si de modo efetivo, e produzir resultados motivacionais e desejados economicamente para a organização. A equipe deverá entrar em consenso nas tomadas de decisões (Stamatis, 1995).

A equipe núcleo para estudos de FMEA deve ser escolhida de modo a focalizar os processos envolvidos (e não as funções) no processo para a melhoria de qualidade em questão. Deverão ser escolhidas pessoas que dominem estes processos e que possuam competência e experiência adequadas, pois elas poderão ter que tomar decisões e assumir ações recomendadas. A equipe deverá ter boa representatividade, tanto dos setores envolvidos no projeto, como dos níveis hierárquicos da organização (Rotondaro *et al*, 2002).

Para a escolha dos participantes da equipe FMEA geralmente é levado em consideração a estrutura organizacional. Organizações estruturadas matricialmente possuem um ou mais representantes de cada área funcional para atuarem em um dado projeto (Vasconcellos e Hemsley, 1997). Desta forma, na execução de um estudo de FMEA geralmente são convocados os representantes das áreas funcionais envolvidas no sistema do projeto a ser analisado. Em alguns casos, a formação da equipe FMEA pode levar em consideração a estrutura informal, que consiste em relacionamentos entre pessoas que são desenvolvidos com base na proximidade, ligação, amizade, conselhos, além de interesses e experiências compartilhadas. Estas relações informais são tão importantes quanto as formais com relação ao fluxo de informações e como

as tarefas são realizadas dentro da empresa, uma vez que relações e regras formais não são as únicas formas de interação social nas organizações (Nohria, 1991).

É recomendável que pelo menos um dos integrantes da equipe conheça profundamente o procedimento para a elaboração de um FMEA. Ele será o facilitador do FMEA, e servirá de treinador para um funcionário que não tem a mesma facilidade com a ferramenta (SAE J-1739, 2002).

Sinergia

Equipes são formadas pois desta forma é possível obter *sinergia*. Sinergia segue o princípio de que o esforço de várias pessoas trabalhando em equipe é bem maior do que a soma dos esforços individuais. Para benefício da equipe, a inteligência coletiva (sinergia) e a organização deverão ter as seguintes características: (Stamatis, 1995)

- A equipe deverá coletar somente informações relevantes;
- O processo em questão deverá ser consistente, ser o mais isolado possível de mudanças na organização, no pessoal, etc.;
- Os dados expressos deverão refletir corretamente o seu conteúdo de informação;
- O projeto e implementação das tarefas deverão minimizar a carga imposta pelo processo de coleta de dados.

Consenso

Consenso é definido como uma decisão coletiva atingida através da participação ativa de todos os membros da equipe. Para tanto, é necessário que todos os membros da equipe apresentem seus pontos de vista, que ouçam com atenção e que discordem de forma construtiva quando necessário. Consenso não quer dizer que foi obtida concordância de 100% da equipe, mas que uma parte da equipe concorda (ou é comprometida) com uma decisão tomada pela equipe. Nem sempre o consenso obtido com a concordância da maioria é o mais adequado, pois algumas vezes a

decisão correta pode ser proferida pela minoria da equipe, enquanto todos os outros participantes estão no caminho errado (Stamatis, 1995).

Administrando o processo de reuniões

É necessário gerenciar corretamente pessoas durante o transcorrer de uma reunião para que todos participem de forma adequada. (Mosvick e Nelson, 1987) identificaram 11 procedimentos para a tomada de decisão que também servem para o gerenciamento eficaz de reuniões:

- Utilize tempo suficiente para iniciar e reiniciar a questão inicial até que todos concordem com o item do problema a ser discutido;
- Solicite a opinião honesta dos participantes fora da reunião quando necessário;
- Considere opiniões como sendo hipóteses; avalie antes de criticá-las;
- Elabore um método para testar a viabilidade de opiniões, considerando o assunto e os objetivos a serem atingidos;
- Estabeleça uma regra na qual informações adicionais dadas durante a reunião sejam levadas em consideração na discussão dos itens;
- Estimule discordâncias e diferenças de opiniões;
- Crie o hábito de não julgar as opiniões dos participantes assim que elas são ditas. Aprenda a apreciar a diversidade dos pontos de vista das outras pessoas;
- Estimule o compromisso dos participantes para resolverem os assuntos da reunião assim que possível;
- Concorde, se necessário;
- Pergunte se uma decisão tomada é realmente necessária. Lembre-se que fazer nada é uma escolha legítima;
- Elabore um procedimento para informar a todos se a tomada de uma dada decisão obteve sucesso.

Resolução de problemas durante estudos de FMEA

Devido ao fato de estudos de FMEA serem feitos através de reuniões de equipes multifuncionais, em algumas situações pode ocorrer o surgimento de problemas ou preocupações em alguma área participante. As pessoas ou grupos necessitam de ferramentas para auxiliarem na identificação da natureza de seus problemas e para administrarem os novos planos de ação necessários. O conteúdo de um modelo genérico de identificação e resolução de problemas é apresentado abaixo (Stamatis, 1995):

Estágio 1: Identificação
Identificar o problema

Estágio 2: Escopo
Colher informações
Organizar os dados

Estágio 3: Definição
Definir problema

Estágio 4: Análise
Analisar problema
Listar possíveis soluções
Selecionar solução

Estágio 5: Implementação
Implementar solução

Estágio 6: Avaliação
Avaliar solução

Estágio 7: Acompanhamento
Monitorar solução

Estágio 8: Melhoria
Melhorar continuamente

Planejamento de reuniões para estudos de FMEA

Para que estudos de FMEA sejam feitos de forma adequada é necessário planejar as reuniões da melhor forma possível. Bradford (1976), Nicoll (1981), Schindler-Rainman *et al* (1988) e Stamatis (1991) identificaram os seguintes itens a serem levantados:

- **Pessoas:** Todas as reuniões envolvem pessoas. Os participantes de reuniões podem variar em valores, atitudes, experiências, sexo, idade e educação. Estas diferenças necessitam ser consideradas no planejamento da reunião.
- **Objetivos:** Reuniões têm razões para existirem. Os objetivos das reuniões necessitam ser entendidos por todos os participantes.

- **Custos:** Uma vez que estudos de FMEA podem durar bastante tempo, é extremamente necessário avaliar os custos de pessoal e transporte envolvidos.
- **Tempo:** Qual a duração deste estudo de FMEA? Há uma agenda alternativa disponível? Há suplentes para os participantes que necessitarem se ausentar do estudo? Os objetivos e prazos para execução do estudo podem ser prejudicados caso não seja dada a devida atenção nos tempos envolvidos e o fato que a reunião pode se prolongar devido a um motivo inesperado.
- **Local da reunião e ambiente:** É necessário planejar o local onde será feita a reunião (que necessita ser de fácil acesso para a maioria dos participantes) e se o espaço físico e os recursos disponíveis são adequados para o bom andamento da reunião.
- **Preparação antes da reunião:** Para que a reunião transcorra de forma mais ágil, é interessante deixar previamente pronto tudo o que puder ser providenciado antes da reunião, como por exemplo material para consulta.
- **Agenda da reunião:** Toda reunião precisa ter uma agenda previamente preparada e enviada a todos os participantes. É necessário observar se todos os objetivos estão incluídos na agenda.
- **Início, meio e fim:** É necessário planejar todas as etapas que a reunião irá transcorrer para que todos os objetivos possam ser plenamente alcançados.
- **Acompanhamento:** Depois da reunião, é necessário fazer a minuta da reunião, transmitir a todos os participantes e acompanhar se todos os planos de ação levantados na reunião estão sendo implementados adequadamente.

5 FERRAMENTAS DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE E O RELACIONAMENTO COM O PFMEA

5.1 BRAINSTORMING

(Bralla, 1996) define *Brainstorming* como uma técnica para enriquecer a criatividade. O *Brainstorming* consiste em reunir pessoas relacionadas a um determinado assunto para que haja interação de idéias entre todos os participantes. Todos são encorajados a apresentarem idéias para serem analisadas pelo grupo.

A característica mais marcante do *brainstorming* é a ausência total de críticas, ou seja, não deve haver inibição por parte dos participantes para apresentarem suas idéias, por mais estranhas que elas pareçam. Todos os participantes são encorajados a modificar, combinar ou melhorar as idéias apresentadas por outro membro (Kaminski, 2000). Idéias aparentemente estranhas podem estimular o surgimento de uma idéia parecida, porém altamente aplicável, proveniente de outra pessoa. O objetivo é criar um fluxo livre de idéias, ou seja, superar os padrões de pensamento e paradigmas que inibem o surgimento de inovações (Bralla, 1996).

Outra característica do *brainstorming* é o coletivismo de idéias, isto é, a responsabilidade e os créditos da idéia pertencem a todo o grupo, e não somente ao autor. É desejado que surja uma grande quantidade de idéias, para que aumente a probabilidade de surgirem idéias úteis (Kaminski, 2000).

Cuidados a serem tomados

Alguns cuidados a serem tomados durante reuniões de *brainstorming* são:

1. Ter um problema claramente definido;
2. Escrever as idéias sugeridas em um local onde todos os participantes possam ler;
3. Escrever exatamente as palavras e termos colocados pelo participante. Não cabe ao coordenador interpretar o que foi dito;
4. Ao final da reunião de brainstorming, fazer uma breve avaliação do que foi colocado, fazendo uma rápida classificação e agrupamento de idéias. Pedir para que cada participante explique, se necessário, o que ele

colocou para que todos possam entender o sentido, evitando-se mal entendidos futuros.

Formação do grupo e papel do coordenador

O grupo de participantes para reuniões de *brainstorming* deve ser mais ou menos homogêneo, não havendo nenhum especialista ou "pessoa de destaque", pois estes esfriam o ambiente, ao colocarem ou fazerem os demais participantes se sentirem em situação de inferioridade. É importante escolher um coordenador com as tarefas ou funções de (Kaminski, 2000):

1. Dividir o problema em diversas idéias;
2. Apresentar estas idéias ao grupo;
3. Organizar a seqüência de idéias, de maneira que um fluxo de idéias não seja interrompido por idéias destoantes, e deixando que estas se manifestem quando o fluxo estiver totalmente esgotado;
4. Evitar pausas: o coordenador deve ter perguntas prontas a fim de estimular novas associações;
5. Evitar qualquer tipo de crítica, julgamento ou ironia;
6. Ao término da reunião, organizar as idéias para apresentá-las aos interessados.

Avaliação das idéias geradas

Dependendo dos objetivos a serem atingidos (redução de custos, rapidez, resolução de problemas, etc.) serão estabelecidos critérios que servirão para orientarem os examinadores na avaliação das idéias geradas através da reunião de *brainstorming*. Se estes critérios forem objetivos e claros, a avaliação das idéias será rápida e todos compreenderão as soluções obtidas.

O próprio grupo de avaliação pode utilizar uma ou mais idéias geradas modificando-as para obter uma nova idéia, mais válida do que todas as demais. Justamente neste sentido o *brainstorming* é entendido como sendo uma fonte de idéias que dificilmente surgem perfeitas: elas são sucessivamente avaliadas, redimensionadas e aperfeiçoadas a fim de se chegar a um resultado positivo, com

maiores probabilidades de êxito do que geralmente se consegue em reuniões tradicionais (Kaminski, 2000).

O *brainstorming* é uma ferramenta básica de qualidade altamente aplicável nas dinâmicas de estudos de PFMEA, bem como para a solução de problemas e levantamento de melhorias para o produto ou processo.

5.2 BENCHMARKING

Benchmarking é um procedimento que proporciona melhorias em algum aspecto das operações de uma empresa (produto, sistema, processos, métodos, organização, procedimento, etc.) ao compará-lo com um melhor exemplo existente em outro lugar. Geralmente é escolhido o líder, o melhor exemplo na função a ser analisada, mesmo que esse líder seja uma outra empresa, competidora ou não. O *Benchmarking* é um procedimento muito eficaz no desenvolvimento de produtos, bem como no desenvolvimento de melhorias nos processos internos de uma empresa. Isto porque ele fornece aos projetistas e engenheiros padrões de referência nos quais eles podem tomar uma decisão que leva em conta a competitividade de um produto existente ou novo (Wallace *et al*., 2002). Se usado corretamente, o *benchmarking* assegura a liderança de um negócio da companhia em quase todos os aspectos.

A função selecionada para referência precisa ser a melhor existente (conceito de *best in class*). Além disso, necessita oferecer novas perspectivas e ter grande potencial para prover melhorias. A intensidade da melhoria em potencial necessita ser suficiente para justificar o custo e tempo necessário para o estudo de implementação.

É importante que indicadores objetivos de performance sejam utilizados como base de comparação da função estudada. Fatores como o tempo de desenvolvimento do produto, ganhos no processo e consumo de combustível por hora de processo são alguns exemplos.

Todo estudo de *benchmarking* necessita ter uma conclusão com um plano de ação. O plano, então, necessita ser implementado de modo a se obter os benefícios decorrentes do acúmulo de informações obtido no estudo de *benchmarking*.

Objetivos quantitativos tangíveis e escalas de tempo devem fazer parte do plano de implementação (Bralla, 1996).

A Fig. 5.1 a seguir ilustra um procedimento para a aplicação do *benchmarking* aplicado na empresa Xerox (Wallace *et al*, 2002). Este exemplo se aplica em cinco etapas. A primeira etapa é a de planejamento, em que são identificados os seguintes aspectos: qual negócio da companhia será submetido ao estudo de *benchmarking*, quais companhias competitivas relacionadas com o negócio serão consideradas, e qual método de coleta de dados será utilizado. A etapa de análise observa a performance do negócio, determinando os níveis atuais e projetando níveis futuros. A terceira etapa de Integração comunica os achados de *benchmarking* para ganhar aceitação, e estabelece objetivos funcionais para atingir a melhoria desejada. A fase da ação é a que desenvolve os planos de ação, implementa a ação específica e monitora o progresso da ação, além de recalibrar os *benchmarkings.* Na última etapa de Maturidade as práticas para as melhorias já estão totalmente incorporadas nos processos da empresa, para assegurar que a empresa atinja a posição líder com relação ao negócio objetivo.

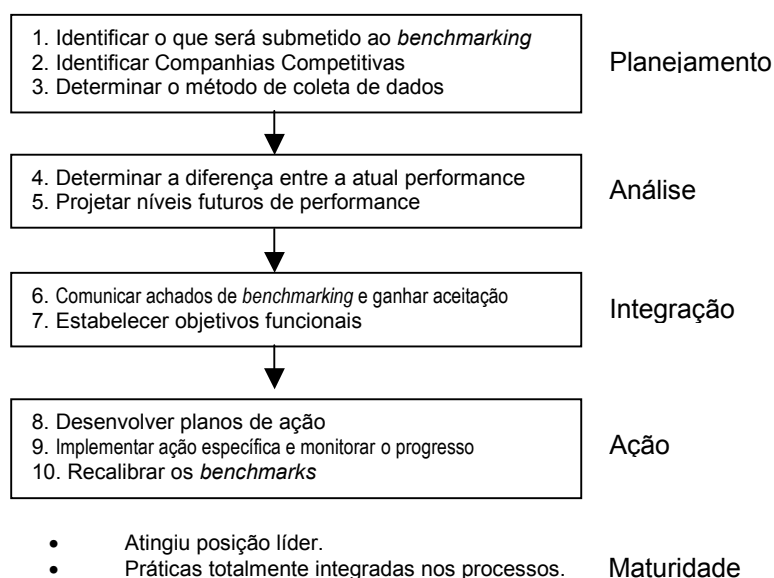
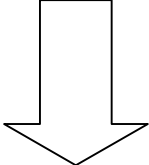



Fig. 5.1: Procedimento para o exercício de benchmarking aplicado na empresa Xerox (Wallace *et al*, 2002).

O processo de *benchmarking* pode ser classificado de acordo com o que está sendo estudado. Portanto, ele poderá ser dividido em quatro principais tipos: produto,

processo, melhor prática e estratégia, conforme mostrado na Tabela 5.1. a seguir (Wallace *et al*, 2002):

Tabela 5.1: Classificação dos tipos de *benchmarking* (Wallace *et al*, 2002)

Categoria	Métricas Típicas	Geração de informação de Vida útil
Produto	Custo, peso, material, performance, etc.	Mais curto
Processo	Estrutura do time, estágios chave do processo, etc.	↓
Melhor Prática	Métodos de gerenciamento do projeto, repasse de informações, controle, etc.	↓
Estratégia	Tempo de venda, lucro, margem, saída, etc.	Mais Longo

Outra forma alternativa de classificar os estudos de *benchmarking* pode ser feita da seguinte forma (Wallace *et al*, 2002):

- **Competitivo:** Efetuar a comparação direta dos produtos da companhia com aqueles da competição
- **Funcional:** Quando funções específicas são comparadas, por exemplo, compra, distribuição, etc.
- **Interno:** Comparação de operações internas entre companhias
- **Genérico:** Foca no negócio como um todo ao invés de comparar funções individuais, e muitas vezes envolve comparações com negócios de indústrias não competidoras.

O *benchmarking* é uma técnica muito útil para os estudos de PFMEA, pois possibilita gerar novas idéias e alternativas para a resolução de problemas, processos de melhorias e levantamento de ações recomendadas.

5.3 DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSO

O diagrama de fluxo de processos documenta o fluxo e as diversas atividades que compõem um processo produtivo, registrando o método de fazer um trabalho. Ele usa diversos símbolos para identificar os diferentes tipos de atividades, mostrados na Fig. 5.2 (Slack *et al*, 1997):

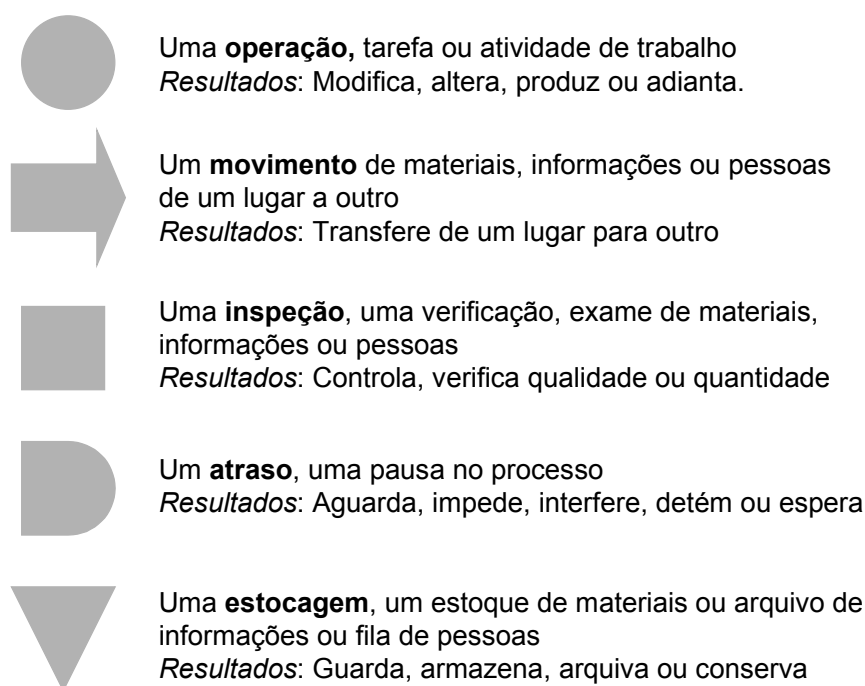



Fig. 5.2: Quadro de símbolos para o diagrama de fluxo de processo
(Slack *et al*, 1997)

O diagrama de fluxo permite o detalhamento mais profundo do processo e sua avaliação. A análise deste diagrama, juntamente com técnicas tais como o Diagrama de Fios (ou Gráfico Espaguete) permitem melhorar o método de trabalho, reduzindo desperdícios produtivos.

De acordo com os princípios da Produção Enxuta, a única atividade que agrega valor ao produto é a Operação. As demais atividades (Inspeção, Transporte, Demora e Permanência) podem ser considerados como improdutivos e devem ser minimizados (ou eliminados) através da melhoria do método de trabalho (Miyake, 2004).

Com base nos conceitos apresentados, conclui-se que a coluna Função / Requisitos de estudos de PFMEA dos processos de montagem final deve conter preferencialmente as atividades de Operação. As demais atividades deverão ser consideradas somente se houver relevância para o processo em estudo, ou se elas afetarem a segurança do operador do processo (montador).

5.4 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO (ESPINHA DE PEIXE)

O Diagrama de Ishikawa, conhecido também como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de Peixe é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre o determinado resultado de um processo (ou efeito) e os diversos fatores (causas) que podem influenciar nesse resultado. O resultado do processo que está em estudo pode ser um problema a ser eliminado, então o diagrama é utilizado para o levantamento e a apresentação visual de suas possíveis causas e de seu relacionamento com o problema (Braz, 2002).

Além de mostrar as causas do problema estudado, o Diagrama de Causa e Efeito também mostra as origens do mesmo. Busca as causas reais e não as que parecem ser óbvias, pois estas últimas em geral são apenas conseqüências das causas anteriores (Hegedus, 2004). Essa ferramenta busca a expansão do leque de informações acerca do problema, aumentando a probabilidade da correta identificação das suas principais causas, para que se possa atacá-las. Esta abertura do campo de visão deve ser a mais ampla possível, desenvolvida preferencialmente por um grupo de colaboradores que têm envolvimento e conhecimento sobre o processo e o problema (Braz, 2002).

O Diagrama de Causa e Efeito possui uma seta principal horizontal apontando para um quadro com a indicação do problema a ser estudado. São feitos ramos ligados à seta principal, sendo que esses ramos representam diferentes critérios que podem ser escolhidas pelo grupo, ou então pode-se utilizar os critérios 6M's referentes a:

- mão-de-obra;
- materiais (ou componentes);
- máquinas (ou equipamentos);
- métodos (procedimentos de operação ou controle);
- meio ambiente;
- medição (sistema de medição: instrumentos, calibração).

Em cada um dos ramos principais são listadas as possíveis causas a eles relacionadas, registradas como "ramos menores". O processo é repetido em cada um dos ramos menores, de forma a indicar sempre um maior nível de detalhe.

O processo para enumerar as causas é o *brainstorming*, em que o pensar livre é fundamental, gerando um maior número de idéias. O diagrama estará pronto quando todas as causas conhecidas pelo grupo estiverem devidamente registradas (Braz, 2002).

Segundo (Braz, 2002) a maioria dos autores concorda que o Diagrama de Causa e Efeito não tem a função de identificar, entre as diversas possíveis causas, qual é a causa fundamental do problema em questão. Ele serve basicamente para:

- Expandir a visão sobre o problema;
- Obter a participação e registrar o conhecimento do pessoal envolvido com o problema;
- Orientar e focalizar as discussões;
- Difundir o conhecimento; e
- Aumentar o nível de concordância dos membros do grupo em relação às melhores oportunidades de trabalho para a solução do problema.

Algumas práticas recomendadas para a implementação do Diagrama de Causa e Efeito estão descritas a seguir (Braz, 2002; Hegedus, 2004; Slack *et al*, 1997):

- Elaborar o diagrama em equipe para que se possa ampliar e diversificar a visão sobre o problema, possibilitando a troca de conhecimentos. A interação entre os participantes e o ganho de novos conhecimentos são resultados importantes do uso desta ferramenta;
- Escrever o diagrama em tamanho grande para que todos os participantes possam enxergar claramente o que está sendo registrado. O diagrama deve ser utilizado como foco da discussão e todos devem estar atentos ao que está sendo registrado, tanto para garantir o seu entendimento como para evitar dispersões e repetições de discussões anteriores;

- Evitar buscar soluções fora da responsabilidade do grupo.
- Utilizar poucas palavras para definir uma causa e tomar cuidado com problemas de semântica e clareza do escrito nas ramificações, pois eles podem levar a mal entendidos. Evitar termos genéricos ou palavras isoladas que não têm significados bem definidos.
- Procurar identificar todas as ramificações e causas primárias possíveis.

A discussão da busca das causas primárias do problema poderá fornecer um conhecimento muito maior no processo envolvido naquela operação do projeto, possibilitando assim um maior domínio da tecnologia, do pessoal, dos equipamentos, e dos procedimentos envolvidos.

Um exemplo de Diagrama de Causa e Efeito que utiliza o critério 6M's extraído de (Braz, 2002) está descrito na Fig. 5.3 abaixo:

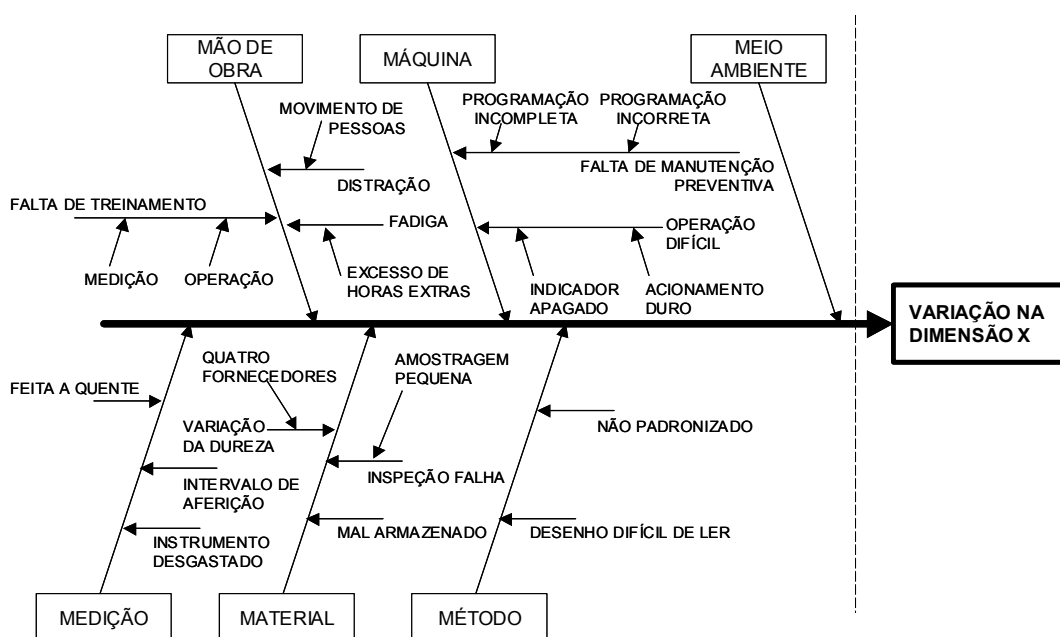



Fig. 5.3: Exemplo de implementação de um diagrama de Ishikawa que utiliza o critério 6M's (Braz, 2002)

Uma vez elaborado, o diagrama deve ser guardado como referência futura. Isto porque ao listar diferentes causas primárias em um dado momento, o problema poderá sofrer conseqüências de outras causas em um momento futuro devido a alterações nas variáveis do processo.

Depois de elaborado o diagrama, é recomendável retornar a seqüência a partir de cada causa primária anotada até o problema, avaliando se a causa implica no próximo passo. Ou seja, verificar se há coerência na seqüência, e se é necessário alterar a redação das causas intermediárias para tornar a seqüência mais clara para os participantes do grupo ou para terceiros. É recomendável também verificar se está faltando alguma causa que permitiria a coerência da seqüência do diagrama.

O Diagrama de Causa e Efeito é muito importante para o levantamento das causas raízes dos modos de falha presentes em estudos de PFMEA (Stamatis, 1995).

5.5 METODOLOGIA 5 POR QUÊS (5 POR QUÊS E 1 COMO)

A técnica por que-por que (também conhecida como 5 por quês ou 5 por quês e um como) é simples porém efetiva para ajudar a entender as razões (ou causas) da ocorrência de problemas.

A técnica começa com o estabelecimento do problema e a pergunta "*por que* o problema ocorreu?". Uma vez que as primeiras causas da ocorrência do problema tenham sido identificadas, é feita novamente a pergunta "por que essas causas ocorreram?" e assim por diante. É recomendável não ficar satisfeito com as causas levantadas muito facilmente. Esse procedimento é repetido pelo menos 5 vezes, e continua até que as causas raízes do problema analisado sejam identificadas. Somente então é feita a pergunta "Como fazer para resolver este problema?" para que as causas raízes do problema sejam eliminadas ou controladas (Slack *et al*, 1997; Shingo, 1988).

Esta ferramenta é importante para o PFMEA, pois pode ajudar no levantamento das causas raízes de um dado modo de falha, bem como no planejamento de ações recomendadas.

5.6 SISTEMAS A PROVA DE ERROS - *POKA-YOKE*

Poka-Yoke é um método preventivo que utiliza conceitos simples e tem como meta atingir zero defeito. A palavra *Poka-Yoke* vem de um termo japonês que em geral é traduzido por “a prova de erros” (evitar (*yokeru*) erros desavisados (*poka*)). A idéia é respeitar a inteligência dos trabalhadores, fazendo com que

atividades ou ações repetitivas que requerem vigilância ou memória sejam substituídas por atividades mais criativas e que efetivamente agregam valor. Isto é feito através da redução de decisões tomadas pelos trabalhadores durante o processo, o que reduz os erros e conseqüentemente aumenta a qualidade.

O *poka-yoke* é baseado no sistema de Controle de Qualidade Zero Defeito que possui as seguintes abordagens (Shingo, 1988):

1. Inspeção na fonte: os erros são detectados na fonte e evitados, para que não ocorra o surgimento de defeitos no produto. Um exemplo é a adição de um pino de localização em uma peça para garantir que ela será sempre posicionada no produto final na posição correta.
2. Inspeção de 100%: utiliza dispositivos a prova de erros de baixo custo para inspecionar automaticamente erros ou condições operacionais defectivas em 100% dos produtos produzidos. Exemplo: uma chave de limitação para checar o correto posicionamento de uma peça que acabou de ser fixada.
3. Ação imediata para interromper operações quando um erro é detectado, como por exemplo um circuito que automaticamente desliga a máquina caso seja detectado um defeito no produto que está sendo processado.

Com base nas abordagens do Sistema de Qualidade Zero Defeito, são identificados dois tipos de *poka-yoke* (Shingo, 1988; Bauer e Labutte, 1999):

- À prova de erros (*error proofing*) – quando o produto ou o processo é projetado de forma a impedir a ocorrência de uma falha potencial ou uma causa de falha, ou seja, os produtos não podem ser manufaturados ou montados de forma incorreta. Ação proativa, preventiva;
- À prova de defeitos (*mistake proofing*) – quando o processo é planejado de modo a ajudar o operador a reduzir ou eliminar erros, aplicando-se técnicas de inspeção que detectam e não deixam passar defeitos durante o trabalho ou processo de montagem. O processo pode também informar imediatamente o operador se a operação foi feita corretamente, e em caso de ocorrência de erros há uma ação corretiva. Ação reativa. Detecção de erros.

A primeira técnica (à prova de erros) é a mais efetiva, porém dispositivos que detectam defeitos e imediatamente tomam ações corretivas são também partes valiosas no processo de melhoria de qualidade (Shingo, 1988).

Cabe ressaltar que sistemas *poka-yoke* eficientes podem ir além de melhorias em equipamentos e processos de montagem. O projeto do produto pode ser melhorado através de alterações no formato de seus componentes de modo a permitir somente a montagem na posição correta. Isto pode ser obtido de forma bastante simples, por exemplo eliminando furos desnecessários na carroceria do veículo que podem confundir o operador na hora de montar um tampão de borracha. Para se obter estes benefícios durante o desenvolvimento de produtos, é recomendável aplicar a metodologia Engenharia Simultânea.

Erros humanos em geral ocorrem de modo involuntário. Os dispositivos *poka-yoke* ajudam a evitar erros, mesmo quando erros involuntários são feitos, ajudando a obter qualidade nos processos. Cinco exemplos de dispositivos *poka-yoke* para detectar e evitar erros humanos estão listados abaixo:

1. **Pinos-guia de diferentes tamanhos** evitam a montagem de peças em posições erradas ou invertidas;
2. **Detecção de erros e alarmes** avisam ou param o processo de produção quando um erro é detectado;
3. **Chaves de limitação** detectam se a peça está posicionada corretamente antes da operação;
4. **Contadores** informam ao operador, por exemplo, o número de apertos feitos para fixar uma peça.
5. **Listas de verificação:** listam as atividades que o operador precisa fazer em um processo, ajudando a fazer com que nenhuma atividade seja esquecida.

Segundo (Shingo, 1988), existem dois estágios para a ocorrência de defeitos: quando o defeito está prestes a ocorrer, ou quando ele já ocorreu. *Poka-Yoke* tem três funções básicas para evitar defeitos – desligamento, controle e aviso. O

reconhecimento de que um erro está prestes a ocorrer é chamado de “predição”, e o reconhecimento de que o erro já ocorreu é chamado de “detecção”.

Uma ampla variedade de dispositivos pode ser usada para detectar erros e defeitos. Os detectores usados pelo *poka-yoke* podem ser divididos em duas categorias: os que ficam em contato direto com a peça e os que não ficam em contato com a peça.

- **Dispositivos de contato:** Micro-chaves e chaves de limitação são os dispositivos de detecção mais usados no *poka-yoke*. Eles detectam a presença de itens e são bastante flexíveis. Chaves de limitação podem ser usados para assegurar que um processo não comece até que a peça de trabalho esteja na posição correta, por exemplo, ou eles podem ser usados para parar um processo caso a peça de trabalho tenha uma forma incorreta, ou caso seja posicionada uma peça errada. Há muitos outros dispositivos de contato usados para detecção, tais como as chaves de proximidade, sensores de posição, sensores de disposição, sensores de passagem de metal, e uma variedade de dispositivos mecânicos.
- **Dispositivos de não contato:** Chaves fotoelétricas podem lidar com objetos opacos, translúcidos ou transparentes, dependendo da necessidade. Há dois tipos de detecção possíveis: transmissão e reflexão. No tipo de detecção por transmissão, duas unidades são usadas, uma para transmitir o feixe de luz, e o outro para receber o feixe de luz. Este tipo pode estar normalmente ligado, significando que a luz esta desobstruída, ou normalmente desligada, significando que a luz não é transmitida. O tipo de detecção por reflexão responde a luz refletida a partir de um objeto para detectar a sua presença.

Para atingir um processo de manufatura à prova de erros e com defeito zero através do *poka-yoke*, oito princípios básicos para a implementação de melhorias devem ser seguidos (Shingo, 1988):

1. **Construir qualidade nos processos**: Fazer com que seja impossível produzir itens defeituosos mesmo quando um erro é cometido. A abordagem

deste caso é de 100% de inspeção, usando dispositivos *poka-yoke* no processo.

2. **Todos os erros involuntários e defeitos podem ser eliminados**: É necessário assumir que defeitos não são inevitáveis. Sempre existe uma maneira para eliminar todos os erros e defeitos.

3. **Pare de fazer errado, e faça certo *agora***: É necessário seguir a filosofia de "não produzir, não aceitar e não passar defeitos", e eliminar os "porém's" nas frases "sabemos que isto não está correto, porém..."

4. **Não pense em desculpas, pense em como fazer correto**.

5. **Uma chance de sucesso de 60% já é bom o bastante para implementar a sua idéia**: Em melhorias, não há a necessidade de perfeição antes de tomar uma ação. Analise as causas e pense em uma solução. Caso a solução tenha chance de mais de 50% de sucesso, implemente-a imediatamente. A solução poderá ser mudada ou melhorada posteriormente, através de melhorias contínuas durante a implementação do processo.

6. **Erros e defeitos podem ser reduzidos a zero quando todos trabalham juntos para atingir este objetivo**.

7. **Dez cabeças pensam bem mais do que apenas uma**: Através do trabalho em **equipe** é possível obter um maior número de idéias para se implementar uma melhoria no processo.

8. **Procure a causa real, usando as técnicas "5 por quês e 1 como" e o Diagrama de Causa e Efeito**: Quando ocorre um defeito, não basta somente empregar mais inspetores para detectar mais produtos defeituosos. Esta medida é apenas um paliativo, e não uma solução definitiva. Ao invés disso, é necessário ir à fonte do problema para assegurar que medidas serão tomadas em direção a solução real, aplicando técnicas tais como o "5 por quês e 1 como" e o Diagrama de Causa e Efeito.

Nos estudos de PFMEA, a aplicação de sistemas *poka-yoke* é a medida mais eficaz para reduzir o índice de ocorrência de falhas (O), bem como para aumentar o índice de detecção (D).

6 METODOLOGIA DE PESQUISA

Pesquisa pode ser definida como sendo o procedimento racional e sistemático que tem por objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. Utiliza-se a pesquisa quando não se dispõe das informações suficientes para responder ao problema ou quando estas informações não estão organizadas de forma adequada (Gil, 1996).

Neste capítulo são descritos os procedimentos e métodos científicos disponíveis para o desenvolvimento de uma pesquisa, sendo escolhido o método para ser aplicado neste trabalho.

6.1 METODOLOGIA CIENTÍFICA

Segundo (Santiago, 2002), o procedimento de pesquisa pode ser caracterizado sob vários aspectos, dentre eles o objetivo geral do trabalho e os procedimentos técnicos utilizados.

Com relação aos objetivos gerais do trabalho, uma pesquisa pode ser dividida em três categorias: pesquisa exploratória, descritiva e explicativa. A pesquisa exploratória tem por objetivo explicitar um problema ou construir hipóteses, enquanto que a pesquisa descritiva visa descrever algumas características de um fato específico. A pesquisa explicativa pretende verificar fatores que interferem na ocorrência dos fatos. Este é o tipo de pesquisa utilizado neste trabalho, pois o objetivo é propor uma metodologia para otimizar o planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva.

Considerando-se os procedimentos técnicos utilizados, uma pesquisa pode ser classificada em diversos tipos. A pesquisa bibliográfica é baseada em materiais disponíveis em materiais impressos (por exemplo, livros ou artigos científicos). A pesquisa documental utiliza materiais impressos não analisados ou organizados (por exemplo, fotografias, memorandos, etc.). A pesquisa experimental utiliza experimentos que visam comprovar uma hipótese. A pesquisa *ex-post-facto* é aquela na qual o experimento ocorreu sem o controle do pesquisador, sendo que este experimento na realidade trata-se de um fato ocorrido antes mesmo da realização da pesquisa. Na pesquisa por Levantamento, pessoas envolvidas com o objeto de estudo

são interrogadas. A pesquisa por estudo de caso analisa profundamente poucos objetos de estudo. A pesquisa participante e a pesquisa-ação envolvem a interação entre pesquisadores e pessoas envolvidas com o objeto de estudo, sendo que "a pesquisa participante envolve posições valorativas, derivadas, sobretudo do humanismo cristão e de certas concepções marxistas" (Gil, 1996). A pesquisa ação, por sua vez, é mais utilizada em situações na qual uma forma planejada de ação é seguida, fato que não é valorizado pela pesquisa participante. Neste trabalho a modalidade de pesquisa adotada com relação aos procedimentos técnicos utilizados é a pesquisa ação.

De acordo com (Thiollent, 1998), a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social empírica realizada com a associação de uma ação ou resolução de um problema coletivo no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo. Há várias características em comum entre o conceito de pesquisa ação e a pesquisa realizada neste trabalho. Em primeiro lugar é evidente que se trata de uma pesquisa empírica, pois foram feitas atividades com base na pesquisa de campo. Em segundo lugar, a pesquisa foi baseada em uma ação, no caso a elaboração e aplicação experimental de uma metodologia para otimizar o planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva. Por fim, ocorreu realmente um envolvimento de modo cooperativo entre o pesquisador e representantes de outras áreas da organização que participaram na atividade estudada pela pesquisa.

6.2 MÉTODO ADOTADO

Como mencionado anteriormente, será realizada neste trabalho uma pesquisa explicativa com uma metodologia de pesquisa-ação. A pesquisa-ação é composta por diversas fases: a fase exploratória, tema da pesquisa, colocação dos problemas, lugar da teoria, hipóteses, seminários, campo de observação, amostragem e representatividade qualitativa, coleta de dados, aprendizagem, saber formal / informal, plano de ação e divulgação externa.

A **fase exploratória** visa compreender a melhor situação em que o pesquisador e a pesquisa serão inseridos no contexto da pesquisa em questão. Para implementar esta fase são necessários os seguintes fatores:

- Disponibilidade de pesquisadores e capacidade de trabalhar na pesquisa-ação: Neste aspecto, o pesquisador (autor desta dissertação) deve tratar com o objetivo desta pesquisa, que é otimizar o planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva.
- Viabilidade da ação no meio: Deverá haver apoio e comprometimento tanto do pesquisador como dos envolvidos para realizar o trabalho.
- Divisão de tarefas, que no caso foi considerado um melhor detalhamento das atividades do pesquisador. As tarefas são:
- Pesquisa teórica: revisão bibliográfica com base nos assuntos: Gerenciamento da Qualidade Total, Desenvolvimento de Produtos, FMEA e Ferramentas de Qualidade e Produtividade;
- Pesquisa de campo: realizada na área da organização pesquisada neste trabalho, onde foram verificados a situação inicial, o momento da execução das ações e o momento da avaliação dos resultados;
- Planejamento de ações – organização e síntese das idéias para implementar a metodologia proposta na organização.
- Estabelecimento das condições de colaboração entre as partes. Foram tomadas somente atitudes que consideravam situações reais dentro da organização, levando em conta a falta de tempo, e a possibilidade do pesquisador planejar e coletar dados experimentais.
- Verificação das condições para viabilizar a pesquisa, com base no relacionamento do autor desta pesquisa e as áreas envolvidas.
- Estabelecimento dos objetivos prioritários de pesquisa, que foi a elaboração de um mapeamento de processos críticos referente às atividades de planejamento de processos de montagem final durante o desenvolvimento de produtos.

A fase da **definição do tema da pesquisa** é baseada nos objetivos definidos, e é o momento da definição clara do tema para os participantes. Neste trabalho, foi definido como tema a elaboração e implementação experimental de uma metodologia

para a melhoria do planejamento dos processos de montagem final da indústria automotiva, considerando o agrupamento de participantes de diversas áreas da empresa, visando uma melhoria da qualidade do produto final.

A fase de **colocação dos problemas** visa fornecer subsídios para uma melhor visualização do objeto de estudo e viabilizar a ação a ser realizada. Para isto, a situação da pesquisa-ação deverá ficar muito clara, e deverão ser seguidos os seguintes passos:

- **Análise e delimitações da situação inicial.** É feita uma análise das estratégias e políticas da organização, diagnóstico do ambiente externo, mapeamento dos processos existentes, análise de recursos, análise da estrutura organizacional e descrição da situação geral em que se encontrava a organização inicialmente.
- **Delineamento da situação final de acordo com critérios de desejabilidade e factibilidade.** Foi traçado um perfil do que era desejado com base nas necessidades da organização e a teoria sobre os pontos abordados na revisão bibliográfica deste trabalho.
- **Planejamento das ações correspondentes:** Nesta etapa foi elaborada e proposta a metodologia para otimizar o planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva.
- **Execução das ações:** Nesta etapa a metodologia proposta foi aplicada experimentalmente na organização.
- **Avaliação das ações:** Nesta última etapa da fase de colocação de problemas da pesquisa-ação foi avaliado o funcionamento da metodologia proposta neste trabalho.

A fase do **lugar da teoria** gera idéias, hipóteses ou diretrizes para orientar a pesquisa e as interpretações dos dados experimentais obtidos (Thiollent, 1998).

A fase de **criação de hipóteses** gera pressupostos que servem como elementos balizadores da pesquisa-ação. Foi definida como hipótese: *Planejar processos de montagem final da indústria automotiva utilizando uma metodologia*

estruturada e contando com a participação de representantes de diferentes áreas de uma organização proporciona benefícios importantes de qualidade.

A fase de **seminário** visa a divulgação de informações relevantes aos envolvidos na pesquisa. O autor divulgou e disponibilizou este trabalho para ser consultado pelos participantes envolvidos nesta pesquisa-ação.

Na fase do **campo de observação, amostragem e representatividade qualitativa** é definida uma amostra particular dos elementos para se fazer a avaliação. No caso da presente pesquisa isto não foi necessário, pois o campo utilizado na pesquisa é facilmente controlável. Trata-se de uma organização apenas.

A fase de **coleta de dados** colhe informações que demonstrarão as condições de comportamento em campo da ação desenvolvida. A aferição dos resultados é feita por meio de três estudos de caso em que a metodologia proposta por este trabalho foi aplicada experimentalmente.

A fase de **aprendizagem** é o momento em que a importância da pesquisa-ação de gerar e transmitir conhecimento é relembrada. Neste caso, conhecimentos ficaram registrados nas páginas deste trabalho e foram transmitidos aos participantes durante as atividades que aplicaram a metodologia proposta.

A fase do **saber formal e informal** tem como objetivo advertir o pesquisador sobre o perigo da arrogância intelectual baseada em um conhecimento formal, que faz com que o pesquisador ignore conhecimentos úteis de pessoas envolvidas na situação de campo registrados de maneira informal. Um tratamento adequado é confrontar o conhecimento informal com o formal e registrá-lo de uma maneira a se obter resultados positivos.

O **plano de ação** é a fase cujo objetivo é estruturar a realização pretendida pela pesquisa-ação. São definidos os responsáveis pela intervenção, como eles se relacionam, quem é incumbido de tomar decisões, quais as metas e critérios para a avaliação da ação, maneiras de dar continuidade à atividade proposta, como garantir a participação conciliadora entre as partes e formas de administrar processos e avaliar o funcionamento das atividades.

Na fase de **divulgação externa**, os resultados ou reflexões obtidos são transmitidos para elementos externos ao local de pesquisa, tais como outras entidades, congressos ou conferências.

De acordo com (Santiago, 2002) as fases da pesquisa-ação indicadas por (Thiollent, 1998) não correspondem exatamente a períodos cronológicos. Algumas fases são balizadores de atitudes e procedimentos tais como o saber formal / informal, aprendizagem e o campo de observação, amostragem e representatividade qualitativa. O seminário, por sua vez, é a fase onde algumas atividades ocorrem. Outras fases são estruturais, tais como o plano de ação, hipóteses e o lugar da teoria. As fases nos quais a pesquisa deverá ocorrer realmente são a fase exploratória, tema da pesquisa, colocação dos problemas, coleta de dados e a divulgação externa. As fases da pesquisa-ação estão ilustradas na Fig. 6.1 a seguir (Santiago, 2002).

Na Fig. 6.1 estão indicados quatro grupos de elementos: Balizadores, Núcleo, Estágios e Aspectos Estruturais. Os elementos Balizadores são os condicionantes de cada ação tomada e orientam o trabalho por meio de seus ideais. Mas para serem efetivados, necessitam de mecanismos referentes a um dos três grupos restantes. O grupo Núcleo é o seminário. O terceiro grupo de elementos, Estágios, servem como guia temporal para os estágios de elaboração da pesquisa. Os Aspectos Estruturais indicam fontes de informação teórica ou estrutural que alimentam as atividades de pesquisa (Santiago, 2002; Thiollent, 1998).

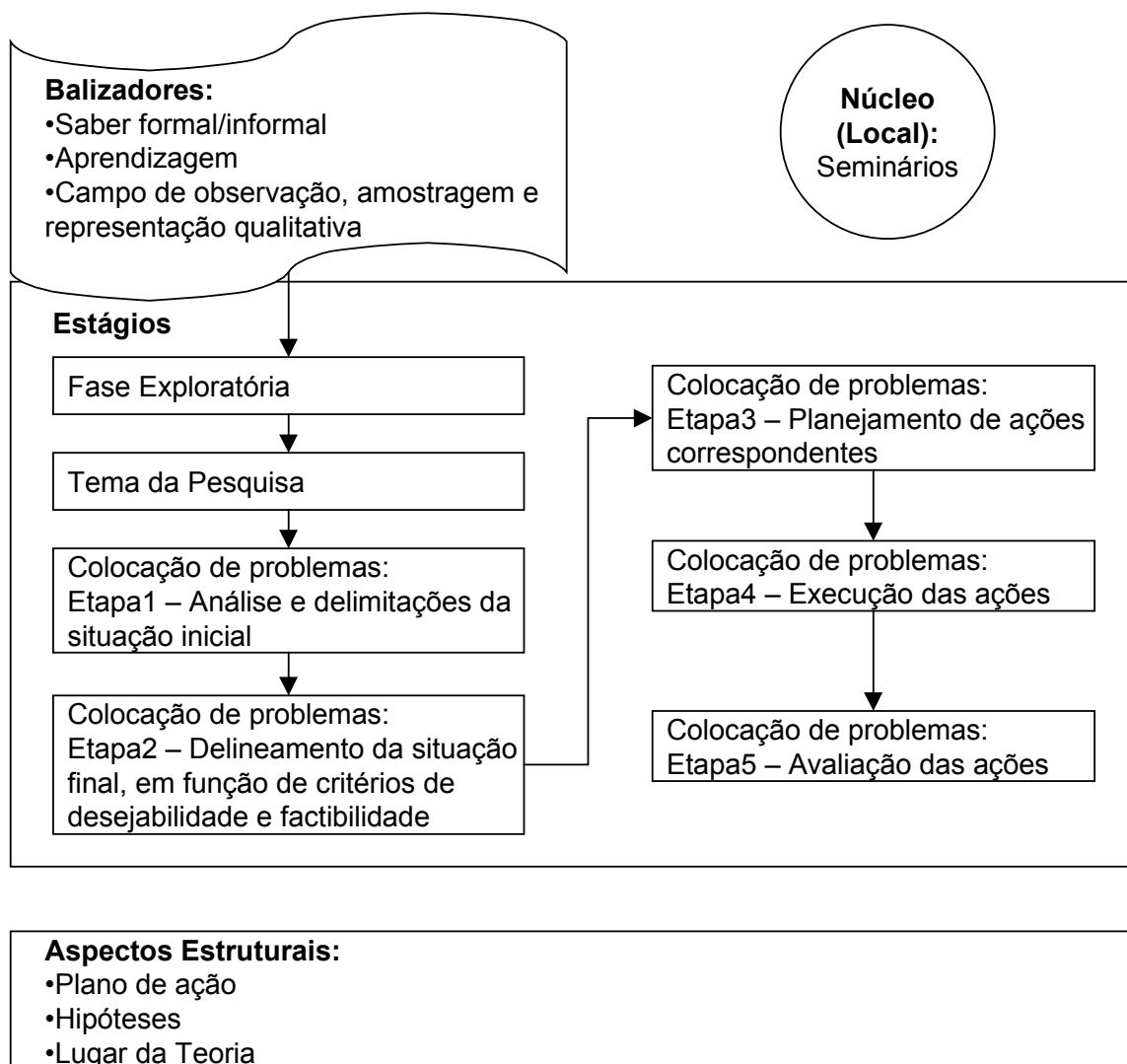



Fig. 6.1: Estrutura da pesquisa-ação (Santiago, 2002; Thiollent, 1998).

6.3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Para que a metodologia proposta por este trabalho seja descrita, é necessário inicialmente fazer um mapeamento dos processos críticos referente às atividades de planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva durante o desenvolvimento de produtos, tendo como referência a situação inicial da unidade de análise deste trabalho. Este Mapeamento de Processos Críticos está representado na Fig. 6.2.

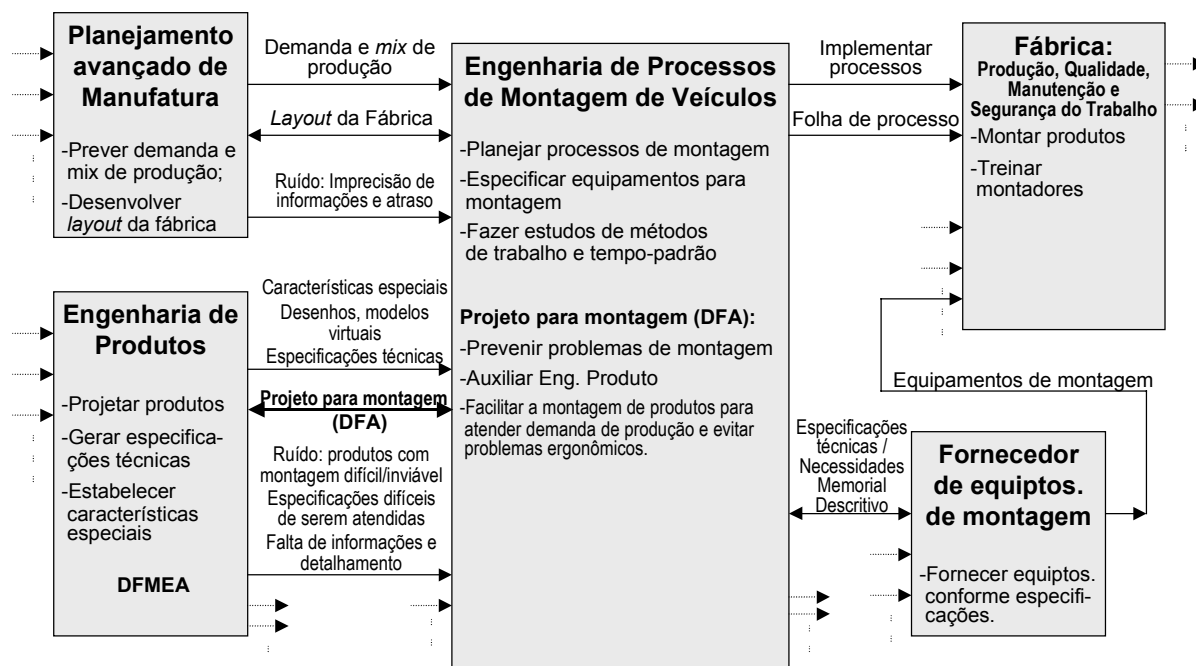



Fig. 6.2: Mapeamento de Processos Críticos da atividade de planejamento de processos de montagem final durante o desenvolvimento de produtos (situação inicial).

No centro da Fig. 6.2 está representado o Departamento de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos, unidade de análise deste trabalho. Esta área é responsável por planejar os processos de montagem final referentes a projetos a serem implementados na Fábrica. As outras áreas representadas na Fig. 6.2 são: Engenharia de Produtos, Fábrica (Produção, Qualidade, Manutenção e Segurança do Trabalho), Fornecedor de Equipamentos de Montagem e o Planejamento Avançado de Manufatura. Todas as áreas representadas pertencem à organização estudada por este trabalho, com exceção dos Fornecedores de Equipamentos de Montagem, que na maioria dos casos são empresas externas.

O Departamento de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos tem como entradas informações provenientes da Engenharia de Produtos na forma de desenhos, modelos virtuais e físicos de peças, especificações técnicas e características especiais dos produtos. Junto com estas entradas eventualmente podem aparecer ruídos na forma de desenvolvimento de produtos com montagem difícil ou inviável, especificações difíceis de serem atendidas ou falta de informações e detalhamento.

As outras entradas são informações da área de Planejamento Avançado de Manufatura, referentes à previsão de demanda, variedade de modelos que serão produzidos (*mix* de produção) e o *layout* da fábrica. Como ruídos eventualmente podem surgir imprecisão e atraso de informações.

As atividades do Departamento de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos são: planejar processos de montagem final, especificar tecnicamente equipamentos para montagem e realizar estudos de métodos de trabalho e tempo-padrão. Outra atividade importante que vem sendo executada é o Projeto para Montagem (DFA), atividade que conta com o suporte da Engenharia de Produtos. Dentre as atividades que fazem parte do Projeto para Montagem são identificadas: prevenir problemas de montagem, auxiliar a Engenharia de Produtos e facilitar a montagem de produtos para atender a demanda de produção e evitar problemas ergonômicos.

O Departamento de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos fornece como saídas para a Fábrica a implementação de processos de montagem e a folha de processo. Quando o processo a ser implementado necessita de equipamentos de montagem, é gerado como saídas especificações técnicas e necessidades através do memorial descritivo do equipamento, que é destinado ao Fornecedor de Equipamentos de Montagem. Este elemento, por sua vez, fornece equipamentos que necessitam ser analisados e aprovados pela Fábrica para serem posteriormente utilizados.

Este Mapeamento de Processos Críticos ilustra a situação da unidade de análise sem a implementação da metodologia proposta por este trabalho. Alguns problemas que podem ocorrer devido a esta situação inicial são: desenvolvimento de produtos difíceis de serem montados devido ao seu projeto ou devido à falta de planejamento adequado para sua montagem; especificação de equipamentos para montagem que são difíceis de serem utilizados ou que não atendem às necessidades da Fábrica; falta de comunicação e de uma rede de informações entre a Fábrica e a área de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos com o intuito de prevenir problemas e servir como um banco de dados de lições aprendidas (*lessons learned*), entre outros.

Outro problema referente à situação inicial da unidade de análise deste trabalho é que o Projeto para Montagem (DFA) praticado entre a área de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos e a Engenharia de Produtos não conta com um procedimento estruturado visando prevenir problemas de montagem. O DFA é realizado na forma de uma avaliação da Engenharia de Processos de Montagem se a proposta da Engenharia de Produto para a montagem de um determinado componente no veículo é viável ou não.

Com o objetivo de evitar os problemas descritos acima, este trabalho propõe a metodologia representada na Fig. 6.3. A metodologia consiste em adicionar o PFMEA (*Process Failure Mode and Effect Analysis*) nas atividades da área de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos com o objetivo de otimizar a atividade de planejamento de processos de montagem final e a especificação técnica de equipamentos de montagem. Devido ao fato dos estudos de PFMEA serem realizados com a participação de representantes das áreas de Engenharia de Produtos, Fábrica e Fornecedor de Equipamentos de Montagem, estão representadas setas indicando a interação de todas estas áreas durante a realização de estudos de PFMEA.

De acordo com a revisão bibliográfica deste trabalho, a aplicação do PFMEA possibilita aumentar a confiabilidade dos processos de montagem e apontar vulnerabilidades do projeto do produto ou do processo. Desta forma, a aplicação da metodologia proposta por este trabalho também visa auxiliar na realização de estudos de DFA. Com isto, espera-se reduzir os ruídos que entram na área de Engenharia de Processos provenientes da Engenharia de Produtos, que são o desenvolvimento de produtos com montagem difícil ou inviável, especificações difíceis de serem atendidas e falta de informações e detalhamento.

Para que estudos de PFMEA sejam eficientes, é necessário aplicar ferramentas de qualidade tais como o *Brainstorming*, *Benchmarking*, Sistemas à Prova de Erros (*poka-yoke*) e Lições Aprendidas (*lessons learned*). Estas ferramentas também podem ser aplicadas diretamente na atividade de planejamento de processos de montagem ou no DFA.

Desta forma, foi adicionada uma nova atividade atribuída à Engenharia de Processos de Montagem de Veículos no Mapeamento de Processos Críticos da figura 6.3: a aplicação do PFMEA juntamente com o *Brainstorming*, *Benchmarking*, Sistemas à Prova de Erros e Lições Aprendidas. A aplicação destas ferramentas de qualidade tem por objetivo otimizar todas as atividades da área de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos e inclusive o Projeto para Montagem (DFA). Espera-se auxiliar as atividades da Engenharia de Produtos e reduzir os ruídos que aparecem na forma de produtos com montagem difícil / inviável, especificações difíceis de serem atendidas e falta de informações e detalhamento.

A aplicação do PFMEA também tem por objetivo otimizar a especificação técnica de equipamentos de montagem, que é feita através do memorial descritivo. Com isto, espera-se que os equipamentos de montagem atendam melhor à Fábrica, otimizando a montagem dos produtos.

É importante que técnicas de resolução de problemas - tais como o Diagrama de Causa e Efeito e o 5 Por Quês - sejam aplicadas pela Fábrica. As informações resultantes da aplicação destas técnicas, constituídas por problemas encontrados e as suas causas, serão utilizados nos estudos de PFMEA da Engenharia de Processos de Montagem de Veículos. O objetivo é enriquecer os estudos de PFMEA e evitar a ocorrência dos problemas levantados pelos participantes. Este procedimento também foi representado no Mapeamento de Processos Críticos da figura 6.3.

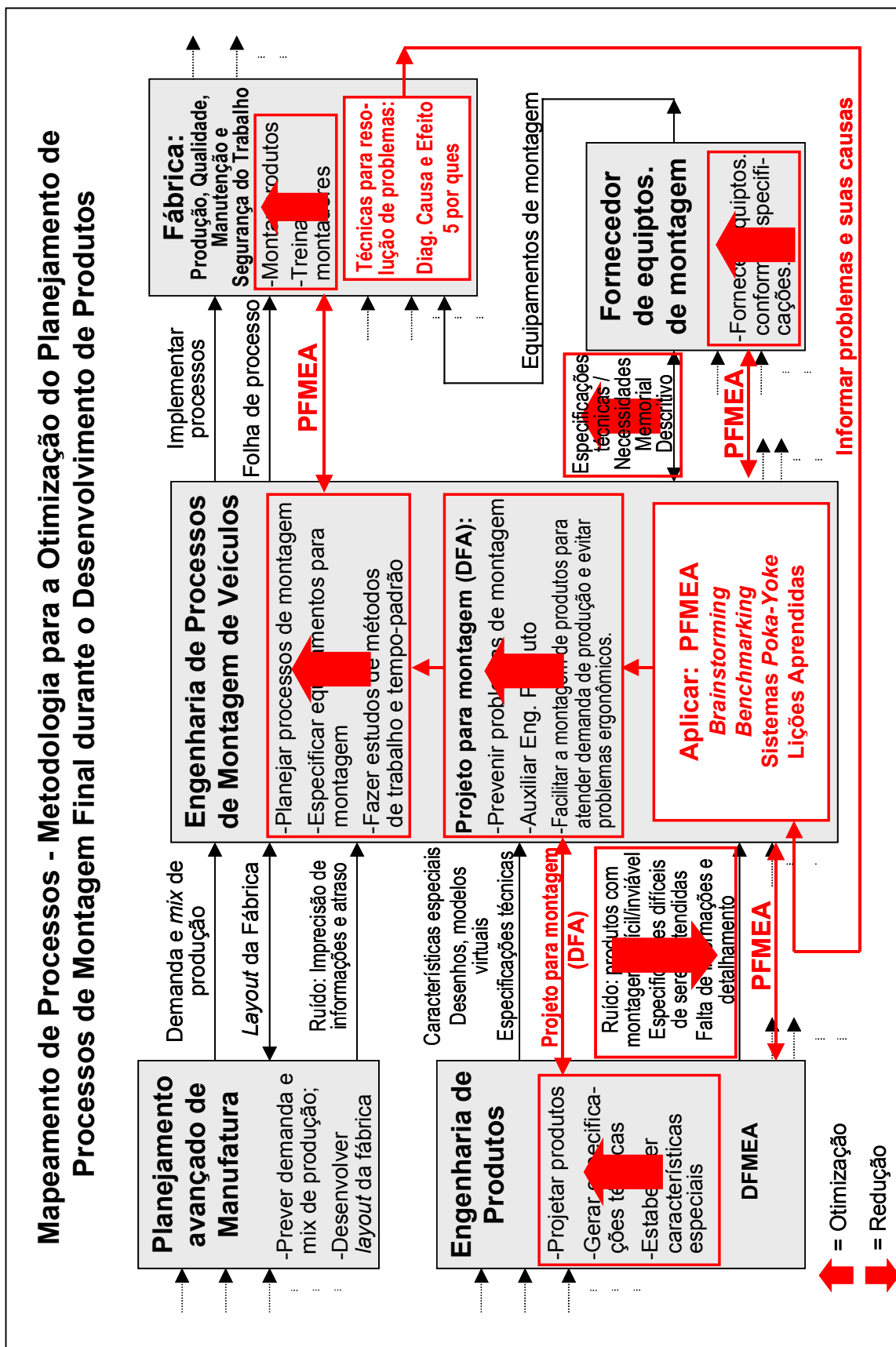



Fig. 6.3: Mapeamento de Processos com a metodologia proposta.

6.4 O PROCESSO GLOBAL DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DA GM – GVDP

A General Motors Corporation elaborou um processo para o desenvolvimento de produtos denominado GVDP (*Global Vehicle Development Process* - Processo Global de Desenvolvimento de Veículos) que está sendo seguido por toda a corporação. O GVDP propõe processos globais competitivos que integram as melhores práticas adotadas pelas diversas regiões contando com a interação entre diversas áreas (Design, Engenharia de Produtos, Engenharia de Manufatura, Qualidade, Marketing, Serviços, Compras, etc.) através da Engenharia Simultânea.

Uma característica do GVDP é a verificação da aplicação de ferramentas de análise virtual, o que reduz os altos custos decorrentes da fabricação de protótipos no início do processo de desenvolvimento de produtos. Os protótipos físicos começam a ser construídos apenas a partir de um estágio avançado do projeto. Outra característica é a divisão do projeto por marcos (*gates*) para verificar se todos os requisitos foram concluídos na passagem de uma fase para outra do projeto.

A GMB utiliza uma versão customizada do GVDP, denominada 37/20. Todos os eventos são posicionados no tempo a partir da data de início de produção do veículo (*SORP – Start of Regular Production*), que determina o marco zero do projeto. A partir deste ponto, voltando-se 37 meses tem-se o início das atividades de estudo do projeto (marco denominado *DSI – Document of Strategic Intent*). A 20 meses do início de produção (marco denominado *VDR – Verified Data Release*) os modelos matemáticos do projeto são "congelados" e liberados para a construção dos primeiros protótipos físicos.

O projeto se inicia com o planejamento do conceito do veículo, etapa em que são estabelecidas as metas e objetivos a serem atingidos. Os requisitos de todas as áreas envolvidas no projeto são levantados e é gerado um cronograma de desenvolvimento detalhado e específico para o projeto.

Após a aprovação da arquitetura do veículo inicia-se a próxima etapa que é o desenvolvimento do veículo conceitual. Através deste veículo, denominado veículo conceitual-virtual, são feitas as primeiras identificações de funcionalidades do

conceito do veículo com a estrutura do assoalho, gerando dados que serão liberados para a próxima etapa.

A próxima etapa do projeto é o desenvolvimento do veículo estrutural virtual, que é usado para a reavaliação da funcionalidade do veículo com a inclusão de itens superiores da estrutura, tais como o motor, transmissão, suspensão, etc. Nesta etapa todas as áreas de manufatura se aprofundam no desenvolvimento dos processos de fabricação, iniciando a construção do ferramental, equipamentos e dispositivos para produção.

A seguir, é feito um *gate*, ou seja, um ponto de checagem do projeto em que as características do exterior e do interior do veículo são aprovadas, e as características do estilo são "congeladas" para o desenvolvimento dos veículos de integração. Através do veículo de integração-virtual é feita a avaliação final da funcionalidade do veículo com o mesmo já completamente modelado. As informações são consistentes e serão progressivamente liberadas para a fabricação dos primeiros protótipos físicos. Neste período inicia-se a preparação da planta para receber o novo veículo e um grupo de pessoas tem os primeiros contatos com o veículo e são treinados para montá-lo.

Através das informações matemáticas liberadas na etapa anterior, são construídos os primeiros protótipos físicos na Engenharia Experimental. Trata-se do veículo de integração físico que é destinado à validação e correlação com o que foi simulado virtualmente tanto na Engenharia de Produtos, na Engenharia de Manufatura e nos Fornecedores. O veículo de integração físico representa a integração de todos os componentes e subsistemas, e através dele a seqüência de montagem é validada. Após a construção dos primeiros protótipos físicos, as folhas de operação que contém as instruções de montagem são elaboradas e liberadas para a fábrica.

A etapa seguinte é a construção dos veículos de validação da manufatura, que geralmente é feita na própria linha de montagem da fábrica. Através da construção destes veículos, problemas de processo são identificados e resolvidos, e os operadores treinam a montar o novo veículo.

Esta fase corresponde à corrida-piloto do projeto. Geralmente esta fase é dividida em duas, uma em que são construídos veículos não-vendáveis e a outra de veículos vendáveis, construídos com 100% das peças aprovadas pelo grupo do projeto e a Diretoria. Após o término da fase de corrida-piloto, começa o início de produção do projeto na fábrica.

A Fig. 6.4 ilustra de forma simplificada (por motivos de sigilo da empresa) o plano do GVDP. Nesta figura foi representado o momento mais indicado para a aplicação da metodologia proposta, considerando-se a condição da unidade de análise deste trabalho. Trata-se do período compreendido entre o desenvolvimento do veículo conceitual, estrutural e de integração, fases em que são concebidos protótipos virtuais contendo diferentes componentes do veículo. Portanto, este é o momento mais adequado para iniciar o planejamento dos processos de montagem final do veículo e verificar se o produto, na forma como está sendo desenvolvido, possui problemas de montagem. É importante que as alterações no produto sejam feitas nesta fase, pois caso isto seja feito posteriormente, poderá resultar em altos custos além de poder comprometer os prazos de execução do projeto.

Os estudos de PFMEA poderão sofrer atualizações durante a corrida-piloto do projeto, fase em que os processos de montagem são validados para o início de produção regular. Modificações posteriores ao início de produção são de responsabilidade da Engenharia de Produção da Fábrica. Portanto esta área deverá atualizar os estudos de PFMEA para modificações nos processos realizadas após o início de produção regular de um novo projeto.

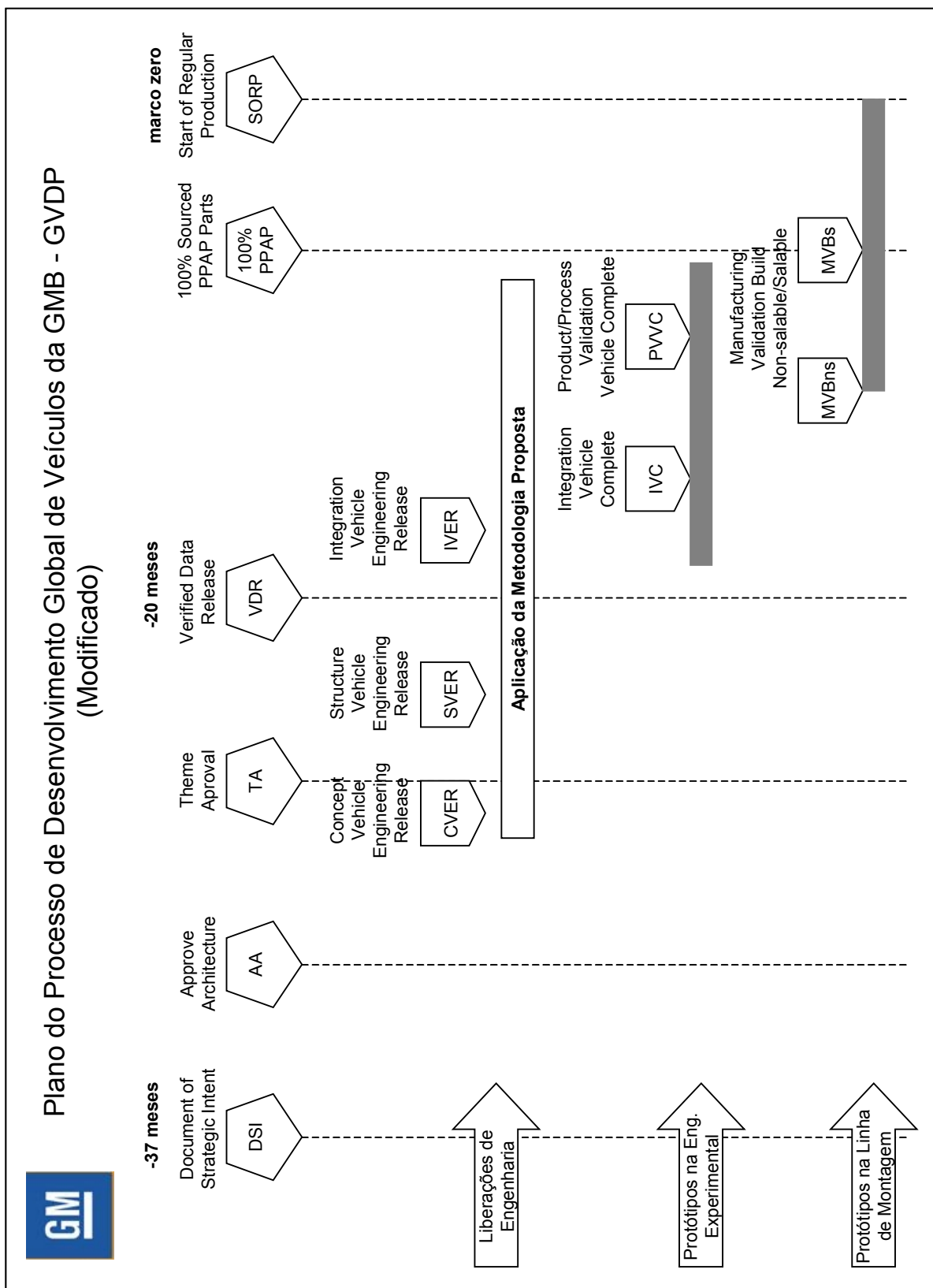



Fig. 6.4: O plano de desenvolvimento global de veículos da GMB (modificado pelo autor)

7 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Este capítulo apresenta os procedimentos criados para a aplicação experimental da metodologia proposta na unidade de análise deste trabalho. Em seguida, é descrito como foram formadas equipes para aplicar o PFMEA e as técnicas de resolução de problemas. A coleta de dados para avaliação da metodologia proposta é feita por meio de três estudos de caso, apresentados a seguir.

7.1 CRIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS PARA A APLICAÇÃO DA METOLOGIA PROPOSTA

A aplicação experimental da metodologia proposta por este trabalho foi iniciada pelo departamento de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos, através da criação de procedimentos a serem seguidos e cadastrados no Banco de Dados do Processo de Qualidade da Engenharia da organização em estudo por este trabalho.

Em seguida, foram criados procedimentos destinados à área da Fábrica (Produção, Qualidade, Manutenção e Segurança do Trabalho). Estes procedimentos tiveram por objetivo registrar os estudos para a resolução de problemas referentes aos três estudos de caso realizados neste trabalho.

O Banco de Dados do Processo de Qualidade da Engenharia

No início de um projeto os engenheiros do produto informam os componentes e subsistemas que fazem parte do novo veículo. Com base nesta definição, tanto a Engenharia de Produto como todas as áreas da organização passam a tratar estes itens com o objetivo de implementar o projeto.

Todos os itens do novo veículo são registrados no Banco de Dados do Processo de Qualidade de Engenharia. Este banco de dados é um sistema informatizado que concentra as iniciativas de qualidade aplicadas em todos os itens dos projetos da organização. Os usuários podem criar e consultar documentos referentes à aplicação de ferramentas preventivas de qualidade tais como o DFA (*Design for Assembly*), DFM (*Design for Manufacturability*), DFMEA (*Design Failure Mode and Effect Analysis*), PFMEA, entre outras.

Atualmente a área de Engenharia de Produtos coordena a aplicação das ferramentas de qualidade mencionadas acima junto aos seus fornecedores de componentes veiculares. O PFMEA tem por objetivo aumentar a confiabilidade do processo de fabricação desses componentes. Por motivos de direitos autorais, são registrados no banco de dados somente o cabeçalho e o campo de descrição de atualizações dos estudos de PFMEA feitos por fornecedores externos.

Com a aplicação da metodologia proposta por este trabalho, foi elaborada uma série de procedimentos atribuídos à Engenharia de Processos de Montagem de Veículos conforme ilustrado anteriormente no Mapeamento de Processos da Fig. 6.3. Fazem parte destes procedimentos a execução de estudos de DFA e PFMEA, que devem ser cadastrados no Banco de Dados do Processo de Qualidade da Engenharia para serem consultados posteriormente e servirem como Lições Aprendidas (*Lessons Learned*).

Execução e Cadastramento de estudos de DFA e PFMEA

O PMCA (Processo de Melhoria Contínua Administrativa) é um documento em que são reportadas iniciativas de melhoria contínua dos processos administrativos da organização. O objetivo do PMCA é aumentar a qualidade, agilidade e segurança do trabalho, além de reduzir custos.

Foi elaborado um PMCA para sistematizar uma parte da metodologia proposta por este trabalho no departamento de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos. Foi criada uma pasta em um diretório compartilhado por todos os funcionários do departamento em que foram gravados os seguintes formulários:

- Registro de DFA e PFMEA;
- Formulário de DFA;
- Formulário de PFMEA.

Registro de DFA e PFMEA;

O Registro de DFA e PFMEA tem por objetivo controlar a realização de estudos de DFA e PFMEA pelo departamento de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos. Este registro está na forma de uma planilha com o seguinte aspecto (Tabela 7.1.):

Tabela 7.1: Registro de DFA e PFMEA

Registro de DFA e PFMEA - Proj. B4435

PDT	Item	DFA	Aberta em	Fechar até	Fechada em	PFMEA	Aberta em	Fechar até	Fechada em	Respon-sável
6	Novos bancos dianteiros	D-B4435-001	08/04/05	22/04/05	13/04/05	P-B4435-001	08/04/05	22/04/05		L. Romero
5	Novos faróis	D-B4435-002	08/04/05	22/04/05		P-B4435-002	08/04/05	22/04/05		L. Romero
4	Novo parachoque diant.	D-B4435-003	01/04/05	15/04/05		P-B4435-003	01/04/05	15/04/05		C. Paiva
4	Nova fechadura da tampa tras.	D-B4435-004	22/04/05	06/05/05		P-B4435-004	22/04/05	06/05/05		C. Paiva

É feita uma planilha específica para cada novo projeto. Cada linha da planilha contém os seguintes campos:

- **Time de desenvolvimento do produto:** o veículo em desenvolvimento é dividido por sistemas, e para cada sistema há um time com representantes de diversas áreas da organização para o seu desenvolvimento. Cada time recebe um número.
- **Item do veículo:** novo componente do veículo em desenvolvimento.
- **Códigos de DFA e PFMEA:** Foi criado um padrão seqüencial de códigos para os estudos de DFA e PFMEA para cada item do novo veículo. Este padrão está descrito na Fig. 7.1:

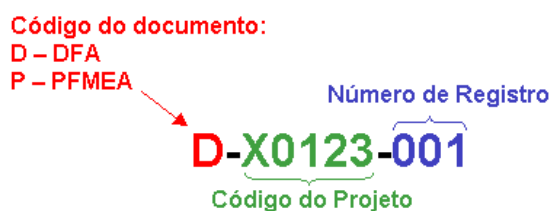



Fig. 7.1: Padrão do código para estudos de DFA e PFMEA:

Os outros campos da planilha são referentes a datas de abertura e fechamento dos documentos e os responsáveis pela execução dos estudos.

Definição do plano para estudos de DFA e PFMEA

A definição do plano para estudos de DFA e PFMEA é feita através de reuniões em que são reunidos representantes das áreas diretamente relacionadas com a Engenharia de Processos de Montagem de Veículos. Nestas reuniões os itens do novo veículo são analisados para avaliar a necessidade de realizar estudos de DFA e PFMEA. Com base nesta avaliação é feito um plano de ação com datas para abertura e fechamento dos estudos para preencher o Registro de DFA e PFMEA.

O critério para avaliação da necessidade de realização dos estudos considera as características especiais dos itens do novo veículo, dificuldade de executar a operação de montagem da nova peça, problemas ocorridos na fábrica e a experiência dos participantes.

Formulário de DFA

Os estudos de DFA executados pela Engenharia de Processos de Montagem de Veículos são reportados no formulário ilustrado na Fig. 7.2 a seguir. Estes estudos são feitos através de simulações virtuais e informações provenientes da Engenharia de Produtos, utilizando a metodologia Engenharia Simultânea e consultando a Engenharia de Produção e os operadores da Fábrica.

A Engenharia de Processos de Montagem de Veículos leva em consideração nos estudos de DFA a dificuldade de montagem de um componente no veículo, atendimento da demanda de produção, acesso para equipamentos de montagem (apertadeiras, manipuladores, dispositivos de montagem, etc.), seqüência de montagem na fábrica e as condições ergonômicas do operador.

GM BRASIL — GENERAL ASSEMBLY REQUIREMENTS DESIGN FOR ASSEMBLY — GENERAL ASSEMBLY PROCESS ENGINEERING

DFA Number: D-B4435-026

ASSEMBLY ANALYZE: New Outboard Rear Seat Belt | MAIN ASSEMBLY N#/PDI: | DATE: 04/29/05

CHAMPION: C. Paiva | DEPARTMENT: GENERAL ASSEMBLY.PROC.ENG´G | PLATAFORM: Gamma | PROJECT: B4435 | LAST UPDATE:

TEAM WORK COMPONENTS	DEPARTMENT	EXT.
C. Paiva	Eng. Processos - GA	4253
M. Tanaka	Eng. Produto	4452
L. Almeida	Eng. Produto	8659
A. Rocha	Eng. Produto	3258

FOCUS ON: New Outboard Rear Seat Belt

Assemblies Required for DFA	Assembly Sequence for DFA	PDI Number
Montar retrator cinto seg na carroc		
Fixar desviador cinto seg		
Montar Trim Side Load		
Montar forro do teto		
Montar cobert acabto col. C/D		
Fixar ponto ancoragem cinto seg		

Workshop realizado em 28/04/2005 na Eng. Produto:
Na fixação do ponto de ancoragem do cinto seg. há uma interferência entre a apertadeira e o trim side load. Necessitamos que o trim side load seja modificado para eliminar esta interferência.

N#	PROPOSED DESIGN CHANGES :	MANDA	OPT	DFA	DFM	MATERIAL US$ / YEAR	STD TIME US$ / YEAR	INVEST US$	APR.	REJ.	ANA.	PROD. ENG'R SIGNATURE
1	Modificar forma do trim side load para eliminar interferência com a apertadeira na fixação do ponto ancoragem cinto seg.											
	TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fig. 7.2: Exemplo de estudo de DFA

Formulário de PFMEA.

O formulário para estudos de PFMEA da Engenharia de Processos de Montagem de Veículos foi elaborado seguindo a norma SAE J-1739, com base em uma máscara já existente utilizada pelo departamento de Engenharia de Processos de Pintura. A Tabela 7.2. ilustra este formulário.

O formulário para reporte de PFMEA da Engenharia de Processos de Montagem possui os seguintes campos específicos:

- **Código do Projeto** (1) referente à operação em estudo;
- **Operação / Peça** (2): Descrição da operação de montagem, da peça a ser montada no veículo ou de um módulo a ser submontado;
- **Área / Estação** (3): Área e estação de trabalho onde é feita a operação;
- **Data de Início** (4): Data de início do estudo de PFMEA;
- **Código do Documento** (5): Segue o padrão descrito na Fig. 7.1;
- **Plataforma / Nome** (6): Código da plataforma e nome do veículo que está sendo desenvolvido;

Tabela 7.2: Formulário para estudos de PFMEA

GM BRASIL	ENGENHARIA DE PROCESSO DE MONTAGEM DE VEÍCULOS ANÁLISE DO MODO E EFEITOS DE FALHAS POTENCIAL DE PROCESSO - PFMEA	PROJETO (1)

OPERAÇÃO / PEÇA (2)			ÁREA / ESTAÇÃO (3)	DATA DE INÍCIO (4)	CÓDIGO DO DOCUMENTO (5)
PLATAFORMA / NOME (6)	NÚMERO DO DESENHO / DMU (7)	DATA DE CORRIDA-PILOTO (8)	DATA SOP (CHAVE) (9)	PLANTA (10) ☐ SCS ☐ SJC ☐ Rosário ☐ Gravataí	
RESPONSÁVEL PELO PROCESSO (11)	DEPARTAMENTO (12)	TELEFONE (13)	EQUIPE (14)		

ITEM	Função do Processo / Requisitos	Modo de falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo		Detecção	R P N	Ações Recomen-dadas	Resp.	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	Novo R P N
								Prevenção	Detecção										

OBS: AÇÃO RECOMENDADA QUANDO NPR>=125

DATA (15)	NÚM (16)	DESCRIÇÃO DA REVISÃO (17)	REVISADO POR (18)	APROVADO POR (19)

- **Número de Desenho / DMU (*Digital Mock-up*)** (7): Código do desenho do produto ou do modelo matemático para realização de análises virtuais;
- **Data de Corrida-Piloto** (8) do projeto;
- **Data de SOP (*Start of Production*)** (9) do projeto;
- **Planta** (10): Fábrica onde o processo será implementado;
- **Responsável pelo Processo** (11): Nome do Engenheiro Processista responsável pelo processo em análise;

- **Departamento** (12) do Engenheiro Processista;
- **Telefone** (13);
- **Equipe** (14): Nomes, departamentos e ramais dos participantes dos estudos;
- **Data de Revisão** (15): Campo para colocação de datas em que ocorrem revisões no processo;
- **Número de Revisão** (16): Número seqüencial para controlar as revisões;
- **Descrição da Revisão** (17);
- **Revisado por** (18): Nome da pessoa que realizou a revisão;
- **Aprovado por** (19): Nome da pessoa que aprovou a revisão. Esta pessoa pode ser o Engenheiro de Produção, de Qualidade ou o Supervisor de Produção da Fábrica.

Observação: Neste formulário, valores de RPN menores do que 125 são escritos na cor preta. Valores de RPN iguais ou superiores a 125 são escritos na cor vermelha, para indicar que são necessárias ações recomendadas para reduzir este valor.

Banco de Dados de Lições Aprendidas (*Lessons Learned*)

Foi criado um banco de dados disponível em um diretório compartilhado por todos os funcionários da Engenharia de Processos de Montagem de Veículos para cadastramento de lições aprendidas.

Este banco de dados visa prover informações para serem consultadas por todos os funcionários do departamento, com o objetivo de evitar problemas que já ocorreram no passado. Outro objetivo é atuar como fonte de consulta para estudos de PFMEA e DFA, além de auxiliar na elaboração de outros documentos.

As principais fontes de informação para este banco de dados são provenientes da experiência dos funcionários ao resolverem problemas de montagem na fase de implementação de projeto, ou em produção normal de um determinado produto.

O Processo de Resolução de Problemas - PRTS

O Sistema para Rastreamento da Resolução de Problemas (PRTS - *Problem Resolution Tracking System*) é um processo padronizado da organização para resolução de problemas do produto. Este sistema é informatizado e aplicável para os problemas ocorridos na fase de pré-produção (implementação do projeto) e de produção normal.

Este processo possui 5 etapas:

- Definição do Problema;
- Definição da Causa Raiz do Problema;
- Documento de Solução;
- Implementação da Solução;
- Documento de Retorno de Informações referentes à resolução do problema;
- Fechamento.

Faz parte da metodologia proposta por este trabalho a aplicação de Ferramentas de Qualidade para a resolução de problemas tais como o Diagrama de Causa e Efeito e o 5 Por Quês. Estes estudos devem ser feitos pela fábrica e cadastrados no PRTS na etapa de Definição da Causa Raiz do Problema. Desta forma, os estudos ficam disponíveis para serem consultados pela Engenharia de Processos de Montagem de Veículos no momento da execução de estudos de PFMEA e DFA.

Formulários para Diagramas de Causa e Efeito e 5 Por Quês

Foram elaborados formulários para o Diagrama de Causa e Efeito e a técnica do 5 Por Quês. Estes formulários estão ilustrados nas Fig 7.3 e Fig. 7.4 a seguir:

GM BRASIL | DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO | ENGENHARIA DE PRODUÇÃO | CÓDIGO DO ESTUDO

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA | PLATAFORMA / VEÍCULO | ÁREA / ESTAÇÃO

CHAMPION | DEPARTAMENTO | TELEFONE | DATA DE INÍCIO | ÚLTIMA REVISÃO

PARTICIPANTES	DEPARTAMENTO	RAMAL

ILUSTRAÇÃO DO PROBLEMA

MÃO-DE-OBRA
MÁQUINA
MEDIÇÃO
MATERIAL
MÉTODO

No.	PLANO DE AÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO	AÇÕES TOMADAS

Fig. 7.3: Formulário para Diagrama de Causa e Efeito

GM BRASIL | 5 POR QUES | ENGENHARIA DE PRODUÇÃO | CÓDIGO DO ESTUDO

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA | PLATAFORMA / VEÍCULO | ÁREA / ESTAÇÃO

CHAMPION | DEPARTAMENTO | TELEFONE | DATA DE INÍCIO | ÚLTIMA REVISÃO

PARTICIPANTES	DEPARTAMENTO	RAMAL

ILUSTRAÇÃO DO PROBLEMA

Problema
Por que?
Por que?
Por que?
Por que?
Por que?

No.	PLANO DE AÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO	AÇÕES TOMADAS

Fig. 7.4: Formulário para técnica do 5 Por Quês

A aplicação destas técnicas para resolução de problemas deve ser feita pela Produção e Qualidade da Fábrica, pois são aplicadas a problemas ocorridos na fase de produção normal. Como mencionado anteriormente, após a realização dos estudos e o preenchimento destes formulários, eles deverão ser salvos no campo de Definição da Causa Raiz do Problema para serem consultados posteriormente pelo PRTS.

7.2 FORMAÇÃO DE EQUIPES PARA REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DE PFMEA E APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE

A formação de equipes para a realização de estudos de PFMEA e a aplicação de ferramentas de qualidade foi feita utilizando-se os princípios da metodologia Engenharia Simultânea e a estrutura organizacional matricial aplicada ao desenvolvimento de produtos.

A organização analisada por este trabalho possui uma estrutura organizacional matricial para o desenvolvimento de produtos e implementação de projetos. Profissionais de diversas áreas se reportam aos seus gerentes funcionais e aos gerentes de projeto.

A metodologia Engenharia Simultânea é aplicada durante o desenvolvimento de produtos. Os Engenheiros de Produto costumam consultar profissionais de outras áreas (por exemplo, Engenharia de Manufatura, Produção, Exportação, Qualidade, etc.). São feitos estudos de Projeto para Montagem (DFA) e reuniões em que são apresentadas informações sobre novos produtos.

Outro procedimento proveniente da Engenharia Simultânea é a formação de times de desenvolvimento de produtos (PDT – *Product Development Team*). O veículo em desenvolvimento é dividido por sistemas, e para cada sistema há um time com representantes de diversas áreas da organização. Estes times se reúnem periodicamente para que todos participem do desenvolvimento do produto.

Portanto, foram aproveitados estes recursos da organização em estudo por este trabalho. Foram convocados representantes diretamente envolvidos com o projeto cujo processo de montagem estava sendo analisado para a formação de equipes para a realização de estudos de PFMEA e a aplicação de ferramentas de qualidade.

As equipes tiveram um núcleo principal composto por representantes das áreas de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos, Engenharia de Produtos, Engenharia de Produção e Produção da Fábrica (Coordenadores de Time de Trabalho e Operadores). Representantes das áreas de Manutenção da Fábrica, Fornecedor de Equipamentos de Montagem, Segurança do Trabalho, Qualidade,

Campo de Provas e Serviços foram convidados ou então consultados durante a realização de alguns estudos.

As reuniões tiveram duração de cerca de 1h cada. A maioria das reuniões foi realizada em salas próximas da linha de montagem, ou seja, próximas ao local de trabalho de representantes da Produção (Coordenadores de Time de Trabalho e Operadores) e da Engenharia de Produção. Outro motivo para esta escolha de local foi possibilitar que as operações de montagem fossem observadas de perto durante as reuniões. Em algumas ocasiões foram utilizados recursos tecnológicos tais como teleconferências, videoconferências e apresentações *on-line*. Foram aplicadas as técnicas *Brainstorming* e *Benchmarking* durante os estudos, o que possibilitou a geração de várias informações, além da discussão livre entre os participantes sobre alguns aspectos dos processos de montagem.

Para agilizar a realização dos estudos de PFMEA, o responsável da área de Engenharia de Processos de Montagem de Veículos trazia o formulário de PFMEA com a coluna de Função do Processo – Requisitos preenchida para os outros participantes analisarem. Caso estivesse adequada, os estudos eram iniciados e as demais colunas do formulário eram preenchidas em equipe.

7.3 OS ESTUDOS DE CASO

Foram realizados três estudos de caso neste trabalho. O objetivo foi aplicar a metodologia proposta e avaliar os resultados obtidos.

Todos os estudos de caso foram originados de projetos. A Engenharia de Produto apresentou os itens que compõem os novos veículos e a Engenharia de Manufatura realizou o planejamento dos processos de montagem final. Foram fornecidas informações sobre os novos itens na forma de apresentações, desenhos do produto, modelos matemáticos, especificações técnicas e características especiais.

Seguindo o cronograma do GVDP (*Global Vehicle Development Process*) da General Motors, os estudos de caso foram realizados na fase do projeto indicada no capítulo 6.4. deste trabalho, ou seja, no período compreendido entre o desenvolvimento do veículo conceitual, estrutural e de integração. O objetivo foi fazer um planejamento preliminar dos processos de montagem final considerando a

experiência do grupo de engenharia simultânea e auxiliar no desenvolvimento de produtos.

7.3.1 ESTUDO DE CASO 1 - AJUSTE DO SISTEMA DE ACIONAMENTO MECÂNICO DA EMBREAGEM

Durante o desenvolvimento de um veículo com sistema de acionamento mecânico (a cabo) de embreagem, a Engenharia de Manufatura fez o planejamento do processo de ajuste deste sistema aplicando experimentalmente a metodologia proposta por este trabalho.

Conforme informações provenientes da Engenharia de Produto, o sistema de acionamento mecânico da embreagem do veículo em desenvolvimento era similar ao utilizado em alguns modelos de veículos em produção regular no momento em que foi feito este estudo de caso.

Vários problemas podem ocorrer caso o cabo da embreagem não seja ajustado corretamente. Alguns exemplos de problemas são: variação do curso do pedal de uma unidade a outra produzida, desgaste prematuro da embreagem e comprometimento da segurança dos ocupantes do veículo. Portanto, o planejamento deste processo de ajuste requer vários cuidados.

A Engenharia de Produto disponibilizou desenhos, modelos matemáticos e características especiais deste sistema, além de especificações do curso do pedal da embreagem nas posições de acionamento e repouso. Com base nestas informações a Engenharia de Manufatura planejou o processo de ajuste do sistema mecânico de embreagem.

Descrição do processo de ajuste do cabo da embreagem

O processo de ajuste do cabo da embreagem de um veículo em produção regular é iniciado com a fixação de um dispositivo ao pedal da embreagem. A função deste dispositivo é garantir o correto posicionamento do pedal da embreagem na condição de repouso. Este dispositivo está ilustrado na Fig. 7.5:

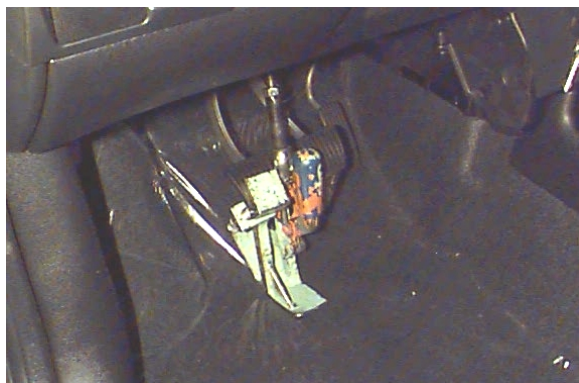



Fig. 7.5: Dispositivo para manter o pedal da embreagem na posição de repouso

A próxima operação ocorre pelo compartimento do motor da unidade. Com o auxílio de uma chave especial e de uma apertadeira[1] adaptada, o operador elimina a folga existente entre a porca de ajuste do cabo da embreagem e o garfo de acionamento. Em seguida, o operador gira a porca de ajuste de 6 a 8 voltas e fixa o retentor da porca. Esta operação está ilustrada na Fig. 7.6:

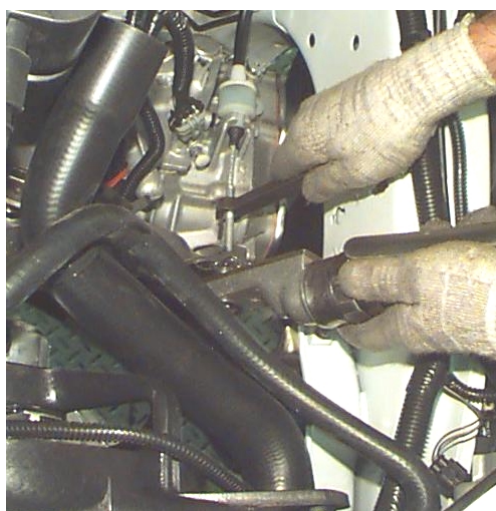



Fig. 7.6: Operador ajustando o cabo da embreagem

Para encerrar este processo, o dispositivo para manter o pedal da embreagem na posição de repouso é removido e o operador faz uma verificação da posição final do pedal da embreagem, que deverá estar cerca de 10mm acima da posição do pedal do freio.

[1]É chamada de apertadeira uma ferramenta automática cuja função é girar um elemento de fixação (por exemplo, um parafuso ou porca) até atingir um torque pré-ajustado.

Aplicação experimental da metodologia proposta

A aplicação da metodologia proposta por este trabalho foi iniciada com estudos para resolução de problemas de veículos em produção que possuem o sistema de acionamento mecânico da embreagem similar ao do veículo em desenvolvimento. As técnicas utilizadas foram o Diagrama de Causa e Efeito e o 5 Por Quês.

O problema escolhido para ser analisado foi o de ajuste inadequado do cabo da embreagem. As Fig. 7.7 e Fig. 7.8 ilustram os resultados obtidos.

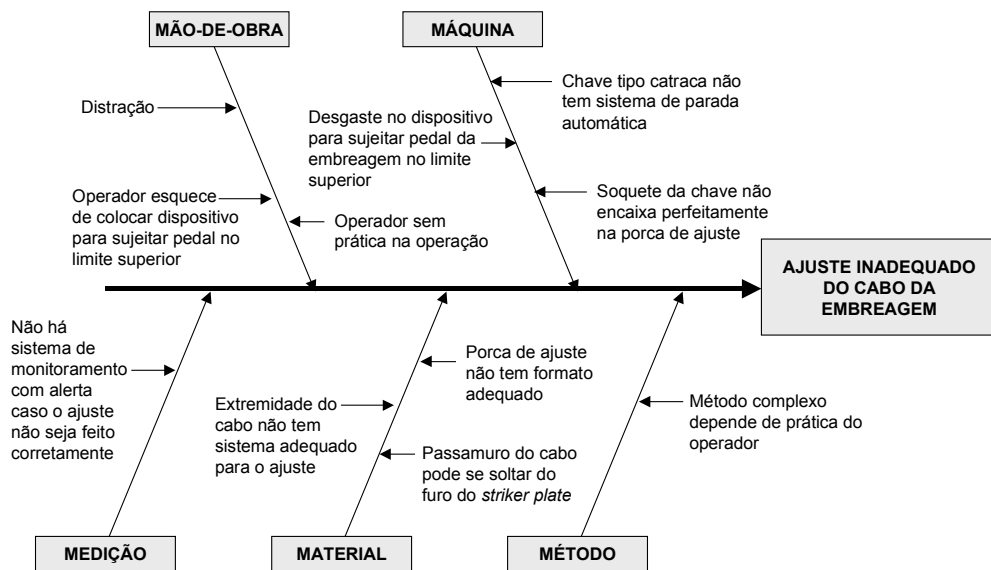



Fig. 7.7: Diagrama de Causa e Efeito aplicado ao problema "ajuste inadequado do cabo da embreagem"

Fig. 7.8: 5 Por Quês aplicado ao mesmo problema

O Diagrama de Causa e Efeito possibilitou levantar e organizar várias causas potenciais para o problema estudado. O 5 Por Quês organizou as causas potenciais de forma lógica, o que possibilita elaborar um plano de ação para solucionar o problema.

Em seguida a Engenharia de Processos de Montagem fez um estudo de PFMEA para o processo de ajuste do cabo da embreagem do veículo em desenvolvimento. O Diagrama de Causa e Efeito e o estudo de 5 Por Quês foram utilizados para auxiliar no levantamento de causas potenciais. Também foram utilizadas informações provenientes do banco de dados de Lições Aprendidas. O estudo de PFMEA para a operação de ajuste do cabo da embreagem está ilustrado na Tabela 7.3.

Tabela 7.3: Estudo de PFMEA para a operação de ajuste do cabo da embreagem

ITEM	Função do Processo Requisitos	Modo de falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo		Detecção	R P N	Ações Recomendadas	Resp.	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	Novo R P N
								Prevenção	Detecção										
1	Posicionar dispositivo para manter pedal de embreagem na posição de repouso (desacionado)	Operador se esquece de posicionar o dispositivo	Parada de linha	7		Distração do operador. Esquecimento.	5	Instrução e Treinamento	Próxima estação de montagem. Teste de rolo.	3	105	Instrução de maior atenção nesta operação	Eng. Produção			7	3	3	63
		Posicionamen-to inadequado do dispositivo	Erro de referência para regulagem do cabo	7		Dispositivo desgastado	3	Não há	Próprio operador	4	112	Verificação e manutenção preventiva no dispositivo	Manutenção da Fábrica			7	3	3	63
			Embreagem mal ajustada	7															
2	Encaixar passamuro intermediário no alojamento da carcaça da transmissão	Passamuro mal encaixado	Erro de referência para regulagem do cabo. Embreagem mal ajustada.	7		Distração do operador. Esquecimento.	3	Instrução e Treinamento	Próxima estação de verificação	3	72								
			Reparo da unidade	8															
3	Rosquear porca até encaixe geométrico na alavanca - zeragem	Ajuste inadequado	Erro de referência para regulagem do cabo	7		Distração do operador	5	Instrução e Treinamento	Estação de verificação / Teste de rolo	3	105								
						Cabeça da máquina dificulta visualização da posição da porca de ajuste	4	Instrução de maior atenção nesta operação	Próprio operador	3	84								

Tabela 7.3: Estudo de PFMEA para a operação de ajuste do cabo da embreagem (continuação)

ITEM	Função do Processo Requisitos	Modo de falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo			R P N	Ações Recomendadas	Resp.	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	Novo R P N
								Prevenção	Detecção	Detecção									
4	Puxar cabo e dar pressão na porca c/ 6 a 8 voltas 7mm +/-1	Pressão maior do que o especificado	Desgaste prematuro na embreagem	8		Operador erra ao fazer o ajuste. Deixa a máquina girar demais	6	Instrução e Treinamento	Estação de verificação / Teste de rolo	3	144	Equipamento à prova de erros para ajustar e emitir relatório para rastreabilidade	Eng. Manufatura	180 dias		8	2	2	32
			Desgaste prematuro no rolamento	8	⊽	Máquina não tem parada automática		Manutenção preventiva da máquina	Próprio operador										
			Pedal de embreagem fora de posição (baixo)	7															
		Pressão menor do que o especificado	Mal engrenamento das marchas	8		Operador erra ao fazer o ajuste. Deixa a máquina girar pouco	6	Instrução e Treinamento	Estação de verificação / Teste de rolo	3	162	Equipamento à prova de erros para ajustar e emitir relatório para rastreabilidade	Eng. Manufatura	180 dias		8	2	2	32
			Quebra do câmbio	9	⊽	Passamuro do cabo da embreagem desencaixado do furo	5	Manutenção preventiva da máquina	Próprio operador	3	135	Solicitação de modificação no passamuro. Aumento de retenção no furo do striker plate	Eng. Produto Residente na Fábrica	180 dias		9	3	3	81
			Pedal de embreagem fora de posição (alto)	7															
5	Posicionar porca de ajuste na forma do garfo de acionamento	Posicionamento inadequado	Desengate do cabo da embreagem da alavanca com o carro em movimento, podendo provocar acidente	10	⊽	Distração do operador. Esquecimento.	3	Instrução e Treinamento	Estação de verificação / Teste de rolo	3	90								
6	Instalar retentor a 2 mm da porca de ajuste	Não instalar	Desengate do cabo da embreagem da alavanca com o carro em movimento, podendo provocar acidente	10	⊽	Distração do operador. Esquecimento.	2	Instrução e Treinamento	Estação de verificação / Teste de rolo	3	60								

Observa-se que foram estabelecidas ações recomendadas para os itens 1 e 4 do estudo de PFMEA, referentes às operações de "posicionar dispositivo para manter pedal da embreagem na posição de repouso" e "puxar cabo (da embreagem) e dar pressão na porca (de ajuste) com 6 a 8 voltas – deslocamento de 7mm +/-1". As ações recomendadas estão descritas a seguir:

- Instrução de maior atenção para a operação de posicionamento do dispositivo para manter o pedal da embreagem na posição de repouso, para evitar que o operador se esqueça de colocar o dispositivo, ou então o coloque de forma inadequada.

- Verificação periódica e manutenção preventiva do dispositivo para manter o pedal da embreagem na posição de repouso.

- Durante o Projeto para Montagem (DFA), solicitar aumento de retenção do passamuro[2] do cabo da embreagem. O objetivo desta ação é evitar que o cabo da embreagem se solte durante o ajuste, o que pode resultar em um ajuste inadequado do cabo da embreagem. Vide Fig. 7.9:

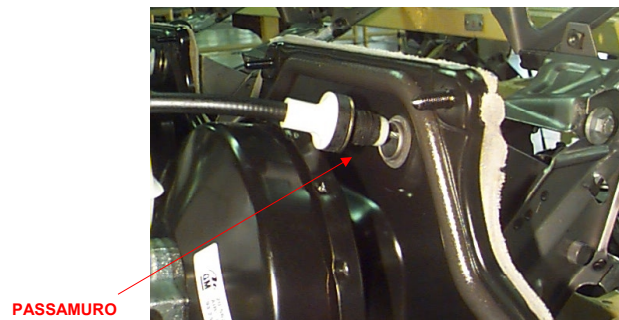



Fig. 7.9: Passamuro do cabo da embreagem

- Durante o planejamento do processo de ajuste do cabo da embreagem, especificar e comprar um sistema à prova de erros para assegurar o correto ajuste. Vide Fig. 7.10:

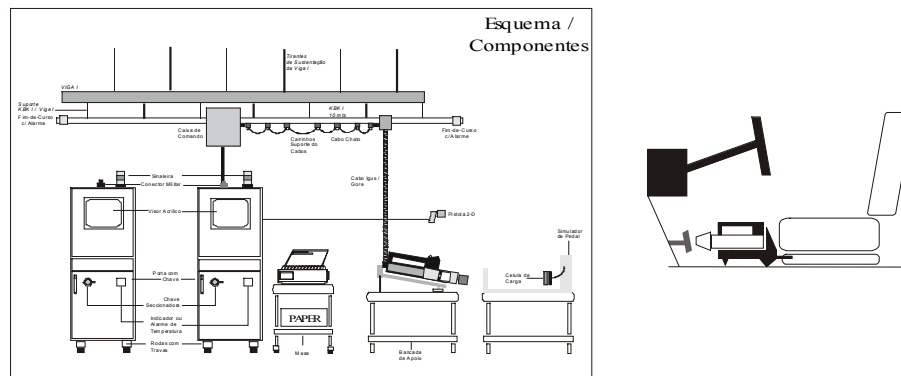



Fig. 7.10: Equipamento a prova de erros para o ajuste do cabo da embreagem

A Tabela 7.4. a seguir apresenta as ações recomendadas levantadas pelo estudo de PFMEA, as áreas responsáveis para executarem estas ações e os documentos envolvidos:

[2]É chamado de passamuro uma peça cuja função é sustentar um componente delgado (por exemplo, uma mangueira, cabo, chicote, etc.) quando este passa por uma abertura de uma chapa.

Tabela 7.4: Ações recomendadas levantadas pelo estudo de PFMEA para a operação de "ajuste do cabo da embreagem"

Áreas envolvidas	Documento	Ações Recomendadas
Eng. Produção	Instrução de operação	• Instrução de maior atenção para a operação de posicionamento do dispositivo para manter o pedal da embreagem na posição de repouso.
Manutenção da Fábrica	Escala de Manutenção Preventiva	• Verificação periódica e manutenção preventiva do dispositivo para manter o pedal da embreagem na posição de repouso
Eng. Processos Eng. Produto	DFA do Sistema de acionamento mecâ-nico da embreagem	• Solicitar aumento de retenção do passamuro do cabo da embreagem.
Eng. Processos Fornecedor do equipamento para ajuste do cabo da embreagem.	Memorial Descritivo do Equipamento de ajuste	• O equipamento para ajuste do cabo da embreagem deverá ter um sistema à prova de erros para assegurar o correto ajuste.

7.3.2 ESTUDO DE CASO 2 - MONTAGEM DO ADAPTADOR DA ALAVANCA DE CÂMBIO

Durante o desenvolvimento de um novo veículo, a Engenharia de Produto pretendia utilizar o mesmo adaptador da alavanca de câmbio do veículo modelo Meriva. Com isto seriam evitados os custos e prazos para o desenvolvimento de uma nova peça, cuja função é elevar a alavanca de mudança de marchas para uma altura ergonômica ao motorista do veículo. O adaptador utilizado no modelo Meriva está ilustrado na Fig. 7.11:

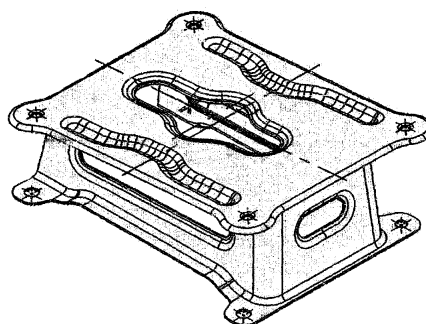



Fig. 7.11: Adaptador da alavanca de câmbio do Meriva

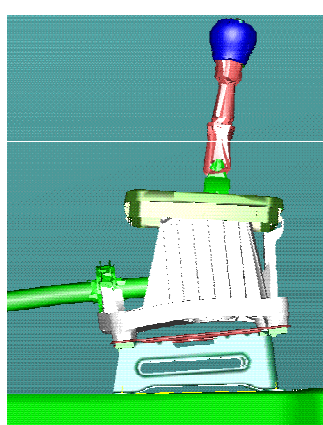
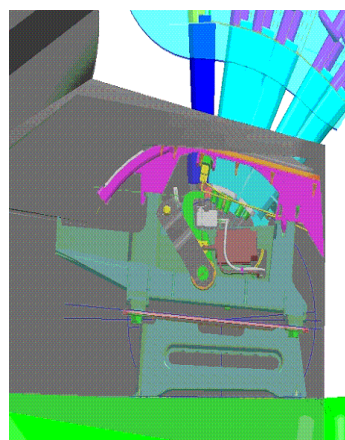
Ao utilizar este adaptador nos veículos com transmissão automática, estava ocorrendo uma interferência entre a alavanca de transmissão e a alavanca de freio de estacionamento. Entende-se por interferência entre dois componentes quando um componente a ser montado entra em contato de modo indesejado ou toma o lugar do outro componente já montado anteriormente, de modo que a montagem dos dois componentes se torne inviável. Para solucionar este problema, a Engenharia de Produto propôs que o adaptador da alavanca de câmbio fosse montado na condição ilustrada na Fig. 7.12:

Veículo com Transmissão Mecânica

Veículo com Transmissão Automática (adaptador da alavanca de câmbio invertido 180° na horizontal)

Fig. 7.12: Condição de montagem do adaptador da alavanca de câmbio

Um primeiro problema potencial que ficou evidenciado nesta condição de montagem é a possibilidade do operador montar o adaptador da alavanca de câmbio na posição invertida devido à aparente simetria da peça, e também porque não havia um sistema à prova de erros (*poka yoke*) no produto.

Outro problema decorrente da utilização desta peça é que ela ocupa um espaço considerável no interior do console do veículo, e havia a necessidade de prover um local para montar o módulo eletrônico da transmissão automática. Um possível local para esse módulo seria embaixo da alavanca de câmbio, da mesma maneira pela qual o módulo eletrônico das bolsas de ar infláveis é montado no veículo modelo Zafira. A utilização do adaptador da alavanca de câmbio do modelo Meriva inviabiliza esta condição.

Um problema considerado sério pela Engenharia de Manufatura é a necessidade de utilizar apertadeiras especiais tipo pé-de-corvo para fixar o adaptador ao assoalho do veículo. Conforme experiência (Lições Aprendidas) da Engenharia de Manufatura, estas apertadeiras são dispendiosas, apresentam muitos problemas de manutenção e grande variação de torque.

Devido à utilização deste tipo de apertadeira, a montagem do adaptador necessita ser feita por dois operadores, um de cada lado do veículo. Portanto, o conteúdo de trabalho da operação de montagem é muito elevado, e caso seja necessário realizar um reparo, é grande a possibilidade de ocorrer parada de produção na linha de montagem. A Fig. 7.13 ilustra o operador executando esta operação:

Fig. 7.13: Operador fixando o adaptador da alavanca de câmbio

Aplicação experimental da metodologia proposta

Para este estudo de caso, a aplicação da metodologia proposta foi iniciada com a realização de estudos para a resolução do problema de torque baixo dos parafusos de fixação do adaptador da alavanca de câmbio do veículo modelo Meriva. Estes estudos estão representados nas Fig. 7.14 e Fig. 7.15:

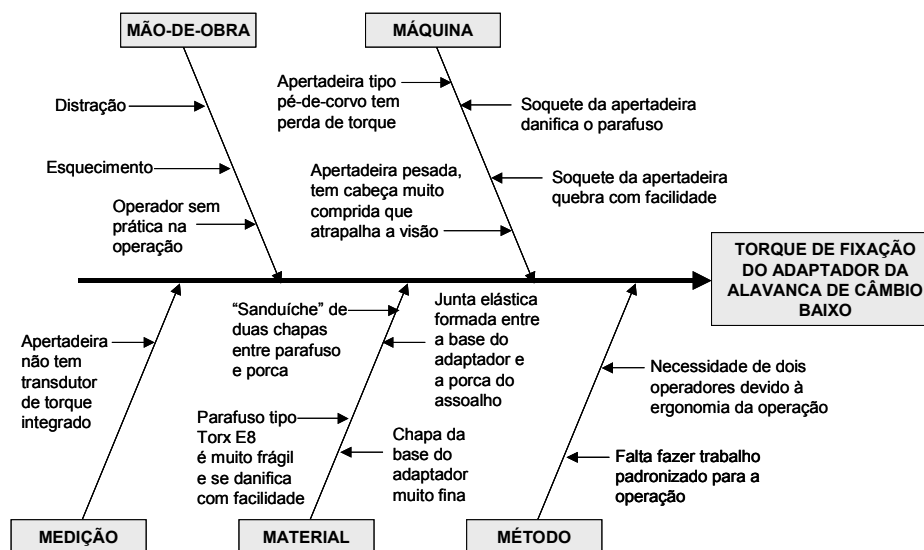



Fig. 7.14: Diagrama de Causa e Efeito aplicado ao problema "torque de fixação do adaptador da alavanca de câmbio baixo"

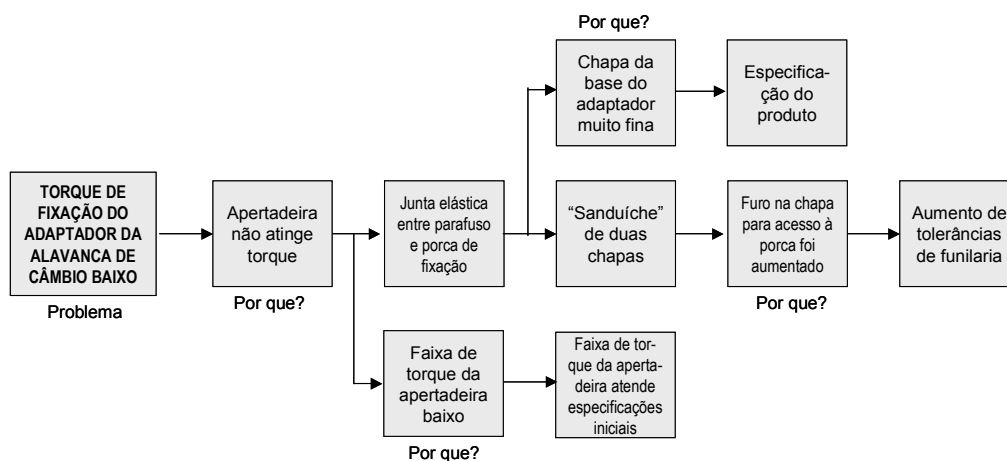



Fig. 7.15: 5 Por Quês aplicado ao mesmo problema

A aplicação das técnicas para resolução de problemas possibilitou levantar várias causas potenciais para o problema de torque de fixação do adaptador da alavanca de câmbio baixo. No caso do veículo modelo Meriva, a ação tomada para atenuar este problema foi substituir a apertadeira tipo pé de corvo por outra com torque maior. Porém, não foram resolvidas as outras causas potenciais que resultavam no problema estudado.

Voltando ao caso do veículo em desenvolvimento, foi realizado um estudo de PFMEA para a operação de montagem do adaptador da alavanca de câmbio. Foi considerada a condição proposta pela Engenharia de Produtos, que é a utilização do

adaptador da alavanca de câmbio do veículo modelo Meriva invertendo a posição do adaptador da alavanca de câmbio na horizontal, dependendo do tipo de transmissão do veículo. Foram utilizadas as informações levantadas pelos estudos do Diagrama de Causa e Efeito, 5 Por Quês e o banco de dados de Lições Aprendidas. O estudo de PFMEA realizado está ilustrado na Tabela 7.5. a seguir:

Tabela 7.5: Estudo de PFMEA aplicado ao processo de montagem do adaptador da alavanca de câmbio do Meriva

ITEM	Função do Processo Requisitos	Modo de falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanis-mo(s) Poten-cial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo		Detecção	R P N	Ações Recomendadas	Resp.	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	Novo R P N
								Prevenção	Detecção										
1	Posicionar adaptador no assoalho	Posicionamento invertido	Impossibilidade de montar a alavanca de mudança de marchas	8	◇	Aparente simetria da peça confunde o operador	6	Instrução aos operadores e verificadores	Estação de verificação na tapeçaria	5	240	Prover etiqueta ou marca na peça para orientar sentido de montagem	Eng. Produto			7	3	5	105
			Parada de linha com segregação da unidade	8															
2	Apontar parafusos e fixar com máquina especial (tipo pé-de-corvo)	Torque errado	Não atendimento às características especiais	7	◇	Necessidade de usar apertadeira especial (tipo pé-de-corvo)	7	Não há	Auditoria de torque por CEP	6	294	Utilizar apertadeira eletrônica com transdutor de torque integrado	Eng. Processos			7	3	2	42
			Vibrações causam ruído de chapa com chapa	6		Junta elástica formada entre a base da peça e a porca do assoalho													
			Espanamento da rosca do parafuso ou da porca	6															
		Danos na cabeça do parafuso (tipo torx E8)	Reparos na própria estação	2															
			Segregação da unidade para reparo	7		Operador posiciona a apertadeira de forma inadequada	4	Não há	Próprio operador	3	84								

Observa-se pelo estudo de PFMEA que a primeira operação deste processo de montagem (Posicionar adaptador no assoalho) apresentou um modo de falha potencial que determinou a seguinte ação recomendada:

- Prover etiqueta ou marca na peça para orientar o sentido de montagem. A Engenharia de Produtos se ofereceu para executar esta ação, que reduz a possibilidade de ocorrer montagem incorreta da peça;

A segunda operação (Apontar parafusos e fixar com máquina especial tipo pé-de-corvo) apresentou modos de falha que necessitaram da seguinte ação recomendada:

- Utilizar apertadeira eletrônica com transdutor de torque integrado. Esta ação requer alto investimento devido ao custo do equipamento.

A Tabela 7.6. a seguir apresenta as ações recomendadas levantadas pelo estudo de PFMEA, as áreas responsáveis para executarem estas ações e os documentos envolvidos:

Tabela 7.6: Ações recomendadas levantadas pelo estudo de PFMEA para a operação de montagem do adaptador da alavanca de câmbio

Áreas envolvidas	Documento	Ações Recomendadas
Eng. Processos Eng. Produto	DFA para o adaptador da alavanca de câmbio do Meriva	• Prover etiqueta ou marca no adaptador da alavanca de câmbio do Meriva, para orientar o sentido de montagem.
Eng. Processos Fornecedor de Apertadeiras	Memorial Descritivo da Apertadeira tipo pé-de-corvo	• Especificar para esta operação uma apertadeira eletrônica com transdutor de torque integrado.

Estas ações recomendadas aumentam a confiabilidade do processo de montagem ao atenuar os problemas levantados pelo estudo de PFMEA, porém sem eliminá-los. Portanto, foi feito um Projeto para Montagem (DFA) envolvendo as Engenharias de Produto e Manufatura visando melhorar a condição de montagem.

Através de *Brainstorming* e *Benchmarking*, a Engenharia de Manufatura sugeriu utilizar o adaptador de alavanca de câmbio de outro veículo, visando evitar os problemas ocorridos com o Meriva. A Engenharia de Produto fez modificações para a peça se adequar às necessidades do veículo em desenvolvimento. A Fig. 7.16 ilustra como ficou esta peça:

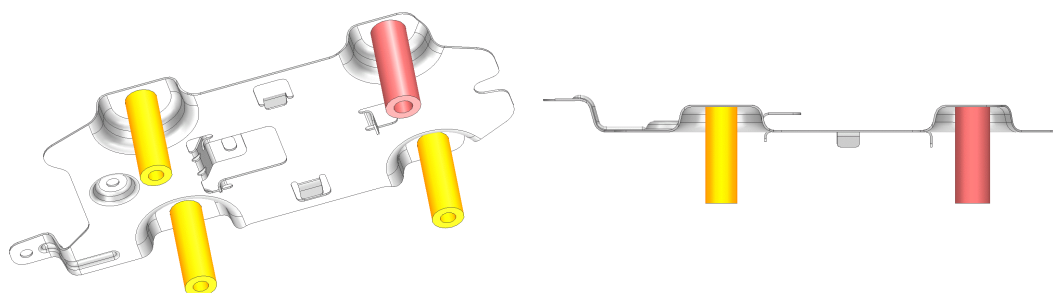



Fig. 7.16: Proposta de adaptador da alavanca de câmbio

Porém, posteriormente a Engenharia de Produto informou que esta proposta era inviável porque a peça se tornou muito cara. O aumento de custo foi de 8,00 UM (Unidades Monetárias) por veículo.

Devido a este fato, foram feitas novas sessões de *Brainstorming* pela Engenharia de Manufatura. Com isto foi sugerida uma nova peça, visando facilitar a montagem.

A proposta da Engenharia de Manufatura foi utilizar 04 espaçadores com o formato de prisioneiros[3] no lugar do adaptador da alavanca de câmbio do Meriva. Estes espaçadores seriam fixados ao assoalho da unidade com uma apertadeira convencional e em seguida a alavanca de câmbio seria posicionada por cima deles e fixada por 4 porcas. A Fig. 7.17 ilustra esta proposta:

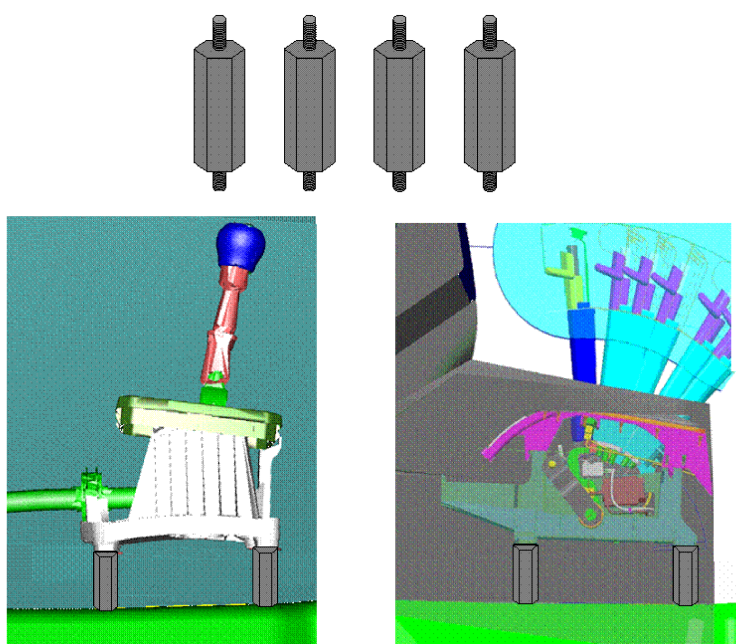



Fig. 7.17: Proposta para o adaptador da alavanca de câmbio

Foi feito um estudo de PFMEA para esta nova condição de montagem, ilustrada na Tabela 7.7. a seguir:

[3] É chamado de prisioneiro um elemento de fixação com o formato de um pino com rosca. O prisioneiro geralmente é rebitado ou soldado em uma chapa metálica.

Tabela 7.7: Estudo de PFMEA aplicado ao processo de montagem dos espaçadores para a alavanca de câmbio do veículo em desenvolvimento

ITEM	Função do Processo Requisitos	Modo de falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanis-mo(s) Poten-cial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo			R P N	Ações Recomendadas	Resp.	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	Novo R P N
								Prevenção	Detecção	Detecção									
1	Apontar e fixar prisioneiro da alavanca de câmbio (4x)	Torque errado	Não atendimento às características especiais	7	◇	Erro do operador ao fixar o prisioneiro; Esquecimento	2	Instrução aos operadores	Auditoria de torque por CEP	6	84								
			Vibrações causam ruído	6															
			Reparos na própria estação	2															
			Segregação da unidade para reparo	7															

Observa-se pelo estudo de PFMEA da Tabela 7.7. que nenhuma ação recomendada foi necessária. Portanto, esta condição de montagem é mais confiável do que a anterior. Outras vantagens desta nova proposta são:

- Redução de ocorrência de montagem incorreta, pois são montadas 4 peças iguais e simétricas;
- Provisão de espaço para montagem do módulo de controle para veículos com transmissão automática;
- Redução de custos de 2,00 UM por veículo produzido, conforme avaliação feita pela Engenharia de Produto;
- Montagem feita por apenas um operador, usando apertadeira convencional. Com isto, obtém-se redução de conteúdo de trabalho da operação de 0,840 min e redução de investimento de manufatura de 41.000,00 UM.

É necessário avaliar as horas de engenharia para desenvolver os espaçadores propostos, a nova posição da alavanca de câmbio e o reprojeto da superfície do console do assoalho. Mesmo com estes fatores esta proposta foi aprovada no desenvolvimento do produto.

7.3.3 ESTUDO DE CASO 3 - MONTAGEM DO BANCO TRASEIRO NA UNIDADE

Durante o desenvolvimento de um novo veículo, a Engenharia de Produto forneceu informações preliminares sobre o novo banco traseiro. Algumas informações estão representadas na Fig. 7.18:

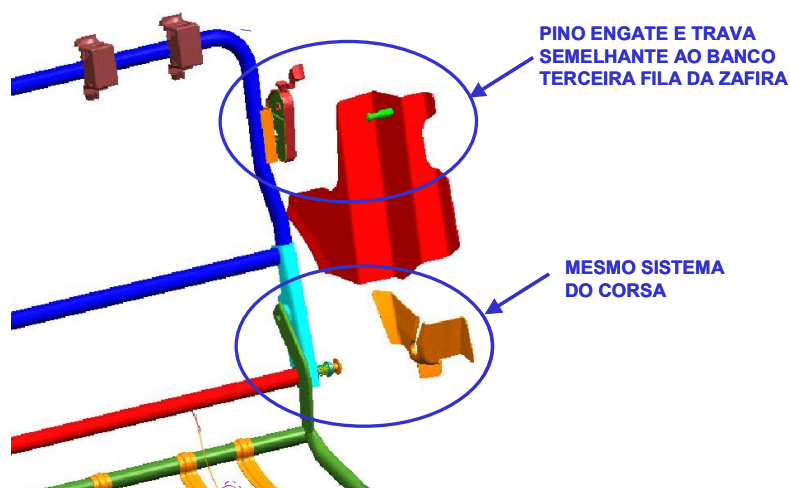



Fig. 7.18: Informações preliminares sobre o novo banco traseiro

Descrição do processo de montagem do banco traseiro no veículo

Devido às dimensões e peso do banco, é necessário posicioná-lo dentro da unidade com o auxílio de um manipulador[4], assim como é feito com o veículo modelo Zafira. A Fig. 7.19 ilustra esta operação:

Fig. 7.19: Operador posicionando o banco traseiro dentro do veículo

[4]É chamado de manipulador um equipamento cuja função é sustentar um componente pesado para aliviar o seu peso e facilitar o trabalho do operador.

Em seguida, é feita a fixação do banco traseiro ao veículo utilizando apertadeira eletrônica com transdutor de torque integrado.

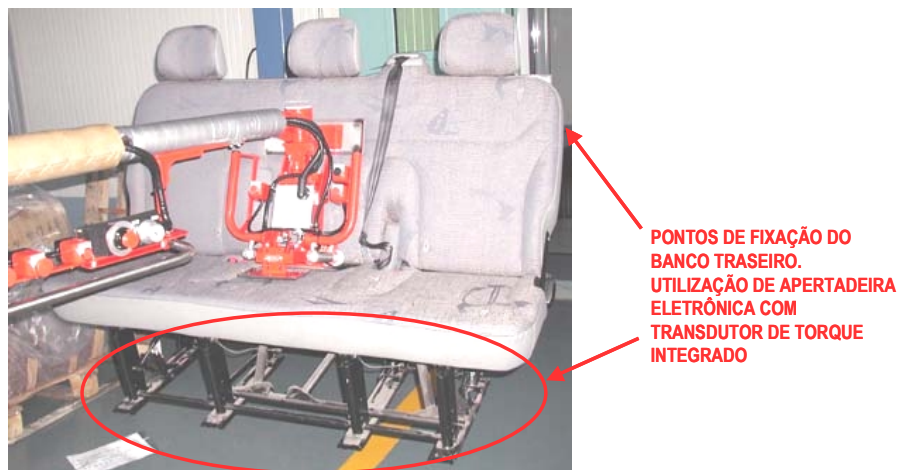



Fig. 7.20: Representação dos pontos de fixação do banco traseiro

Aplicação experimental da metodologia proposta

Foram feitos estudos de resolução dos problemas mais freqüentes relacionados com a montagem do banco traseiro. Estes estudos foram feitos por uma equipe liderada pela Engenharia de Produção com a participação da Engenharia de Processos. Os estudos estão apresentados nas Fig. 7.21 e Fig. 7.22:

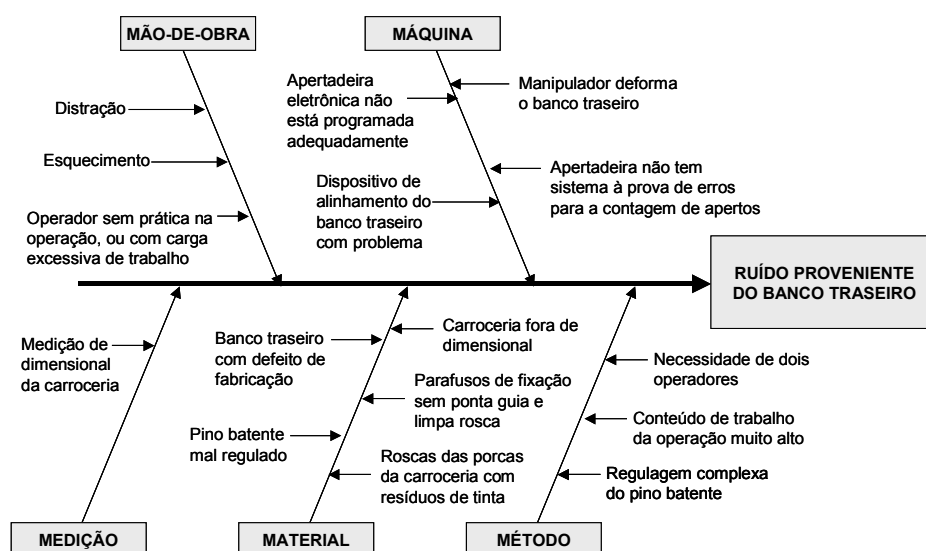



Fig. 7.21: Diagrama de Causa e Efeito aplicado ao problema: “Ruído proveniente do banco traseiro”

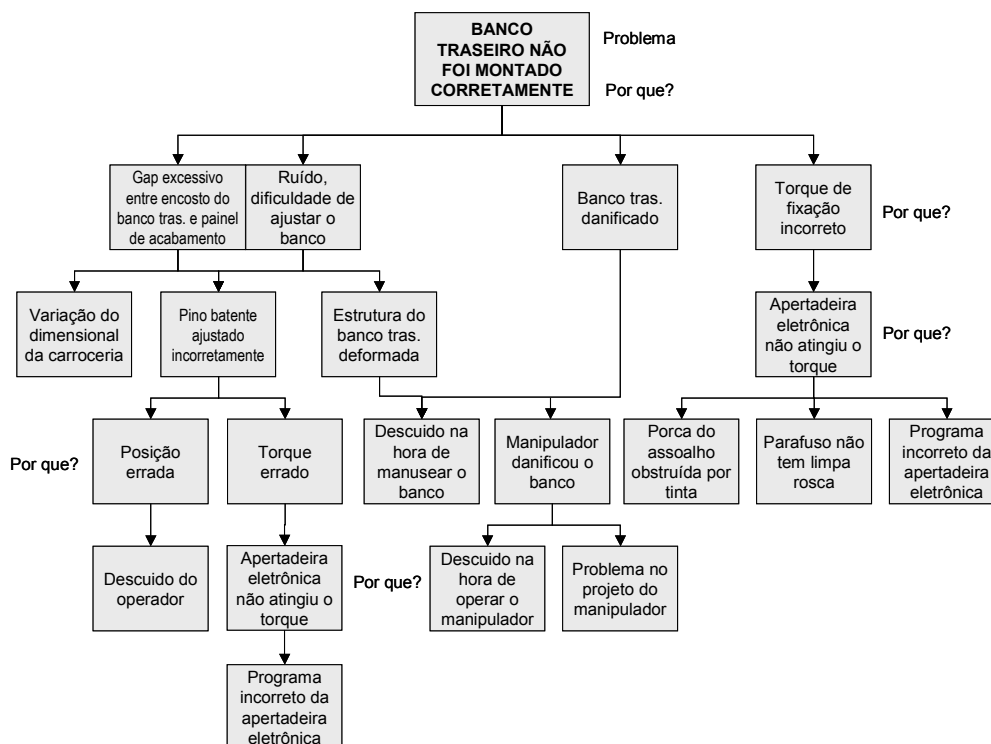



Fig. 7.22: 5 Por Quês aplicado ao problema: “Banco traseiro não foi montado corretamente”

Em seguida, foi feito um PFMEA aplicado à operação de montagem do banco traseiro no veículo. Foram utilizadas as informações levantadas pelos estudos de resolução de problemas que utilizaram o Diagrama de Causa e Efeito e a técnica do 5 Por Quês. Como nos outros estudos de caso, também foram utilizadas informações provenientes do banco de dados de Lições Aprendidas. A Tabela 7.8. a seguir apresenta o estudo de PFMEA realizado:

Tabela 7.8: Estudo de PFMEA aplicado ao processo de montagem do banco traseiro no veículo

ITEM	Função do Processo Requisitos	Modo de falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo		Detecção	R P N	Ações Recomendadas	Resp.	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	Novo R P N
								Prevenção	Detecção										
1	Pegar banco tras da esteira com o manipulador	Manipulador danifica o banco	Banco danificado	7		Pega do manipulador danifica tecido ou estrutura do banco	3	Projeto da ferramenta de pega do manipulador	Estação de verificação. Auditoria de Qualidade.	4	84	Assegurar que especificação do manipulador inclui ferramenta de pega que não danifica o banco.	Eng. Processos / Fornecedor do manipulador			7	1	4	28
		Manipulador danifica estrutura do banco	Montagem do banco prejudicada	7				Manutenção preventiva do manipulador.											
		Dificuldade para mover o manipulador	Ruído	7		Falta de filtro coalescente; Filtro de ar sujo.	3	Especificação do manipulador.	Manutenção da Fábrica.	4	84	Assegurar que especificação do manipulador contém instalação de filtro coalescente	Eng. Processos / Fornecedor do manipulador			7	2	4	56
		Manipulador solta o banco	Afeta a segurança do operador	9		Queda de ar comprimido. Defeito do manipulador.	3	Sistema de emergência em caso de queda de ar comprimido	Manutenção da Fábrica.	4	108	Assegurar que especificação do manipulador inclui parada de emergência em caso de falta de ar comprimido.	Eng. Processos / Fornecedor do manipulador			9	1	4	36
2	Posicionar banco tras dentro da unidade. Encaixar encosto no suporte soldado da carroceria.	Danos na pintura do veículo	Reparo de pintura	8		Manipulador ou estrutura do banco bate na carroceria	3	Capas de proteção de carroceria.	Estação de verificação. Auditoria de Qualidade.	4	96	Providenciar capas de proteção de carroceria. Orientar os operadores a utilizá-las.	Eng. Processos / Eng. Produção.			8	2	4	64
		Posiciona-mento incorreto	Ruído. Dificuldade ao operar o banco.	7	◇	Manipulador entorta estrutura do banco.	3	Manutenção preventiva do manipulador.	Manutenção da Fábrica.	4	84	Assegurar que especificação do manipulador inclui estrutura para não deformar o banco.	Eng. Processos / Fornecedor do manipulador			7	1	4	28
						Manipulador entorta estrutura do banco.	3	Manutenção preventiva do manipulador.	Estação de verificação	4	84	DFA junto à Eng. de Produto para assegurar que o banco não se deforme com facilidade.	Eng. Processos / Eng. Produto.			7	1	4	28
						Carroceria fora de dimensional	3	Controle de Dimensional e Tolerâncias da Carroceria.	Próprio operador.	4	84	Assegurar que o Controle de Dimensional e Tolerâncias da Carroceria está sendo feito.	Eng. Produto.			7	1	4	28
3	Liberar manipulador	Danos na pintura do veículo	Reparo de pintura	8		Manipulador ou estrutura do banco bate na carroceria	3	Capas de proteção de carroceria.	Estação de verificação. Auditoria de Qualidade.	4	96	Providenciar capas de proteção de carroceria. Orientar os operadores a utilizá-las.	Eng. Processos / Eng. Produção.			8	2	4	64
		Manipulador bate em algum operador passando	Afeta a segurança do operador	9		Desatenção do operador na hora de manusear o manipulador	3	Sinalizar estação de trabalho do manipulador.	Segurança do Trabalho.	4	108	Assegurar que Depto. de Segurança irá sinalizar a estação de trabalho do manipulador.	Segurança do Trabalho.			9	2	4	72
4	Fixar estrutura inferior do encosto do banco e pontos de ancoragem do cinto de segurança no assoalho da unidade	Torque inadequado	Afeta a segurança do ocupante do veículo	9		Rosca da porca obstruída. Aplicação de torque falso.	3	Programação adequada na apertadeira eletrônica	Auditoria de torque por CEP	6	162	Programação da apertadeira eletrônica. Monitoramento de torque via rede.	Manutenção da Fábrica.			9	3	3	81
		Parafusos sem fixar	Ruído. Dificuldade ao operar o banco.	7	▽	Distração do operador.	3	Treinamento aos operadores.	Estação de verificação. Auditoria de Qualidade.	4	84	Prover sistema à prova de erros para certificar que todos os parafusos do banco foram fixados	Eng. Processos			7	2	1	14
		Luva do operador enrosca na ponta da apertadeira	Afeta a segurança do operador	9		Utilização de luva inadequada. Desatenção.	2	Conscientiza-ção de Segurança	Segurança do Trabalho.	4	72	Verificar se os operadores estão usando luvas adequadas.	Segurança do Trabalho.			9	1	4	36

Tabela 7.8: Estudo de PFMEA aplicado ao processo de montagem do banco traseiro no veículo (continuação)

ITEM	Função do Processo Requisitos	Modo de falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo: Prevenção	Controles Atuais do Processo: Detecção	Detecção	R P N	Ações Recomendadas	Resp.	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	Novo R P N
5	Soltar cordão e ganchos que prendem o banco	Assento do banco cai, podendo ferir o operador	Afeta a segurança do operador	9		Desatenção do operador. Falta de treinamento.	3	Treinamento aos operadores	Segurança do Trabalho.	4	108	DFA junto à Eng. de Produto para definir o sistema de travamento mais seguro entre encosto e assento do banco.	Eng. Processos / Eng. Produto.			9	2	4	96
6	Posicionar assento do banco na posição final	Posicionamento incorreto	Ruído dentro do veículo.	7		Desatenção do operador. Falta de treinamento.	3	Treinamento aos operadores	Estação de verificação. Auditoria de Qualidade.	6	126	DFA junto à Eng. de Produto para definir estrutura do banco e a forma como ele virá do fornecedor	Eng. Processos / Eng. Produto.			7	1	6	42
		Desalinhamento da estrutura do banco.	Dificuldade ao operar o banco.	7	◇	Desalinhamento no encosto ou assento do banco no posicionamento.	3	Treinamento aos operadores	Estação de verificação. Auditoria de Qualidade.	6	126	Assegurar que especificação do manipulador inclui ferramenta de pega que não deforma o banco.	Eng. Processos / Fornecedor do manipulador			7	1	6	42
						Manipulador entorta estrutura do banco.	3	Manutenção preventiva do manipulador.	Estação de verificação	4	84	Assegurar que especificação do manipulador inclui estrutura para não deformar o banco.	Eng. Processos / Fornecedor do manipulador			7	1	4	28
						Carroceria fora de dimensional	3	Controle de Dimensional e Tolerâncias da Carroceria.	Próprio operador.	4	84								
7	Fixar região frontal da estrutura do banco no assoalho da unidade	Torque inadequado	Afeta a segurança do ocupante do veículo	9		Rosca da porca obstruída. Aplicação de torque falso.	3	Programação adequada na apertadeira eletrônica	Auditoria de torque por CEP	6	162	Assegurar que foi feita programação adequada na apertadeira eletrônica, visando evitar torque falso. Fazer monitoramento de torque via rede.	Manutenção da Fábrica.			9	2	3	54
		Parafusos sem fixar	Ruído	7	▽	Distração do operador.	3	Treinamento aos operadores.	Estação de verificação. Auditoria de Qualidade.	4	84	Prover sistema à prova de erros para certificar que todos os parafusos do banco foram fixados	Eng. Processos			7	2	1	14
		Luva do operador enrosca na ponta da apertadeira	Afeta a segurança do operador	9		Utilização de luva inadequada. Desatenção.	3	Acionar depto. de Segurança para tomada de ações preventivas	Segurança do Trabalho.	4	108	Verificar se os operadores estão usando luvas adequadas.	Segurança do Trabalho.			9	1	4	36
8	Ajustar e fixar pino batente do encosto do banco	Ajuste inadequado da posição do pino batente	Ruído	7		Desatenção do operador ao posicionar e fixar o pino batente.	3	Treinamento aos operadores.	Estação de verificação. Auditoria de Qualidade.	4	84								
		Torque inadequado no pino	Encosto se desprende do pino. Afeta a segurança do ocupante do veículo.	9	▽	Apertadeira eletrônica tipo catraca com problema.	4	Manutenção preventiva na apertadeira eletrônica.	Auditoria de torque por CEP	6	216	Assegurar que foi feita programação adequada na apertadeira eletrônica, visando evitar torque falso. Fazer monitoramento de torque via rede.	Manutenção da Fábrica.			9	2	3	54
			Distanciamento excessivo (*gap*) entre encosto do banco e painéis de acabamento.	7		Carga de trabalho excessivo ao operador.	4	Balanceamento de operações	Estação de verificação. Auditoria de Qualidade.	4	112	DFA junto à Eng. Produto para facilitar o posicionamento dos pontos de ancoragem do cinto de segurança traseiro.	Manutenção da Fábrica.			7	2	4	56

Assim como nos outros estudos de caso, foram utilizadas as técnicas de *brainstorming* e *benchmarking* para auxiliar na realização deste estudo de PFMEA. Foram levantadas várias ações recomendadas aplicadas para os modos de falha potencial, com o objetivo de melhorar este processo de montagem.

A Tabela 7.9. a seguir relaciona as ações recomendadas levantadas pelo estudo de PFMEA com as áreas responsáveis e os documentos envolvidos.

Tabela 7.9: Ações recomendadas levantadas pelo estudo de PFMEA

Áreas envolvidas	**Documento**	**Ações Recomendadas**
Eng. Processos Eng. Produto	DFA Banco Traseiro	• Definir como o banco traseiro virá do fornecedor, visando facilitar a pega com o manipulador; • Estrutura do banco traseiro não pode se deformar com facilidade no manuseio; • Sistema para prender o assento no encosto deverá ser seguro para evitar acidentes; • Assegurar a execução do Controle Global de Dimensional e Tolerâncias da Carroceria.
Eng. Processos Fornecedor do Manipulador do Banco Traseiro	Memorial Descritivo do Manipulador	• Ferramenta de pega do manipulador não poderá danificar o banco traseiro. • O manipulador deverá manusear o banco traseiro sem deformar sua estrutura; • O manipulador deverá ter sistema de segurança quando da falta de ar comprimido na fábrica; • O manipulador deverá ser protegido para evitar danos na pintura do veículo; • Instalar filtro coalescente para evitar entrada de impurezas no sistema de ar comprimido do manipulador, pois isto causa dificuldade ao operá-lo.
Eng. Processos Eng. Produção	Folha de Processo	• Especificar capas de proteção de modo a evitar danos na carroceria do veículo.
Eng. de Processos Segurança do Trabalho	Ações de Segurança	• Sinalizar Estação de Trabalho do Manipulador; • Verificar luvas utilizadas pelos operadores.
Eng. de Processos Manutenção da Fábrica	Aceite Técnico da Apertadeira Eletrônica	• Programar a apertadeira eletrônica de modo a prevenir a ocorrência de torque falso; • Prover sistema à prova de erros para certificar que todos os parafusos do banco foram fixados • Rastrear a apertadeira eletrônica através do sistema de monitoramento de torque via rede.

8 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta uma discussão sobre os resultados obtidos nos três estudos de caso em que a metodologia proposta foi aplicada. As perguntas feitas no início deste trabalho são respondidas. A seguir, sugestões para pesquisas futuras são apresentadas. Por fim, é feita uma conclusão geral sobre o trabalho.

8.1 RESULTADOS OBTIDOS

8.1.1 PROCESSO DE AJUSTE DO CABO DE EMBREAGEM

Neste estudo de caso a aplicação da metodologia proposta apresentou benefícios para o planejamento do processo de ajuste do cabo da embreagem e o desenvolvimento de produtos. Foram estabelecidas três ações recomendadas para aumentar a confiabilidade do processo e uma ação para auxiliar no desenvolvimento do novo veículo.

Duas das ações recomendadas para aumentar a confiabilidade do processo, referentes ao dispositivo que mantém o pedal da embreagem na posição de repouso – “prover instruções para o correto posicionamento do dispositivo” e “verificação periódica e manutenção preventiva do dispositivo” – tiveram como objetivo assegurar o posicionamento adequado do pedal da embreagem para que o ajuste do cabo tenha condições de ser feito corretamente no veículo em produção regular. Outro objetivo foi orientar o montador para que ele não se esqueça de posicionar o dispositivo, pois isto poderia causar parada de produção na linha de montagem.

A outra ação recomendada para aumentar a confiabilidade do processo foi referente à especificação e compra de um equipamento com sistema à prova de erros para a operação de ajuste do cabo da embreagem. A Engenharia de Processos de Montagem de Veículos iniciou o processo para implementar este equipamento a tempo de não comprometer os prazos do projeto. Assim que este equipamento for fabricado e implementado no processo de ajuste do cabo da embreagem, o estudo de PFMEA deverá ser atualizado, pois até o momento da realização deste estudo de caso o equipamento ainda não estava pronto.

A ação recomendada para auxiliar no desenvolvimento do novo veículo foi solicitar aumento de retenção do passamuro do cabo da embreagem através do estudo de Projeto para Montagem - DFA. Esta ação auxiliou no desenvolvimento do novo veículo, pois foi evitado o problema que poderia ocorrer devido à falta de retenção do passamuro, que é o deslocamento indesejado do cabo da embreagem durante o ajuste. Este estudo preventivo teve como objetivo evitar modificações tardias no produto que pudessem resultar em altos custos e atrasos na implementação de projetos.

Portanto, observa-se que neste estudo de caso a aplicação da metodologia proposta proporcionou benefícios para o processo de ajuste do cabo da embreagem, fator essencial para aumentar a qualidade dos produtos oferecidos aos clientes e reduzir os custos de garantia. O desenvolvimento de produtos foi melhorado, pois foram gerados requisitos de manufatura a serem solicitados no Projeto para Montagem (DFA) do veículo em desenvolvimento. Além disso, foram estabelecidas ações preventivas para aumentar a produtividade do processo e evitar atrasos na implementação de projetos.

8.1.2 MONTAGEM DO ADAPTADOR DA ALAVANCA DE CÂMBIO

Neste estudo de caso a metodologia proposta por este trabalho contribuiu com o planejamento de processos de montagem final e o desenvolvimento de produtos. Foram levantadas ações recomendadas que viabilizaram a condição de montagem proposta inicialmente pela Engenharia de Produtos. Mesmo assim, a metodologia proposta foi aplicada novamente para gerar outros conceitos do produto visando melhorar a condição de montagem.

O *Brainstorming* e as Lições Aprendidas foram fundamentais para a realização do Diagrama de Causa e Efeito, o 5 Por Quês e o PFMEA. O *Brainstorming* em conjunto com o *Benchmarking* possibilitaram a geração de outros conceitos para o produto visando reduzir custos e facilitar a montagem.

Um fator importante para a obtenção dos resultados satisfatórios deste estudo de caso foi a escolha do momento mais adequado para a aplicação da metodologia proposta. Ela foi aplicada em um momento em que ainda era possível

solicitar alterações no produto. Se a metodologia tivesse sido aplicada tardiamente, isto poderia inviabilizar as propostas geradas.

A formação de equipes para a realização de estudos de PFMEA e aplicação de ferramentas de qualidade contribuiu com a geração de resultados favoráveis para o desenvolvimento do produto e o planejamento de processos de montagem. Neste estudo de caso a aplicação da metodologia proposta gerou um conceito para o produto que proporcionou redução de custos e de tempo-padrão da operação. Além disso, foram evitados investimentos de manufatura e os problemas de montagem já conhecidos.

8.1.3 MONTAGEM DO BANCO TRASEIRO

A aplicação da metodologia proposta neste estudo de caso gerou uma análise detalhada dos problemas referentes à montagem do banco traseiro nos veículos. O Diagrama de Causa e Efeito contribuiu para levantar várias causas, enquanto que o 5 Por Quês as organizou de forma lógica visando aumentar o entendimento dos problemas. O banco de dados de Lições Aprendidas também forneceu várias informações importantes para os estudos.

O estudo de PFMEA possibilitou gerar uma série de ações recomendadas com o objetivo de otimizar o processo de montagem. As informações obtidas através da aplicação das ferramentas de qualidade geraram requisitos de manufatura a serem solicitados através de análises de DFA e memoriais descritivos do manipulador do banco traseiro. Também foram levantadas ações visando assegurar a qualidade do veículo produzido ao evitar danos de pintura, ações para garantir a segurança do operador e o atendimento dos requisitos da área de Manutenção da Fábrica.

A aplicação da metodologia proposta estimulou a discussão da forma como o fornecedor enviaria os bancos traseiros para a linha de montagem. Outra discussão foi referente ao dimensionamento da carroceria para receber o banco traseiro. Foram levantadas ações para facilitar a montagem e reduzir as operações de ajuste, com o objetivo de atender a demanda de produção e evitar problemas de qualidade do banco traseiro tais como ruídos, dificuldade de operação e problemas de acabamento.

Com relação ao manipulador do banco traseiro, a metodologia proposta contribuiu com as especificações deste equipamento ao levantar características que devem ser solicitadas para aumentar a sua funcionalidade, eficiência e segurança. Isto é importante, pois um equipamento mal especificado tem grandes chances de não atender a demanda de produção e não ser utilizado pelos operadores. Além disso, especificações mal feitas de equipamentos podem gerar retrabalhos futuros, custos imprevistos e atrasos. Todo o processo de especificação técnica, compra, construção e instalação de um manipulador de bancos traseiros dura cerca de 1 ano, e a maioria dos fornecedores deste tipo de equipamento são estrangeiros. Com todos esses fatores, a correta especificação do equipamento também pode levar a uma grande economia no desenvolvimento e execução do projeto.

8.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Com base nos resultados obtidos através da aplicação da metodologia proposta e a realização dos três estudos de caso, as perguntas feitas no início deste trabalho foram respondidas:

"Quais são os benefícios obtidos através da aplicação da metodologia proposta durante o desenvolvimento de produtos, no contexto da Engenharia Simultânea?".

Foi observado através dos estudos de caso que a aplicação da metodologia proposta otimizou o planejamento de processos de montagem final. Foram estabelecidas ações recomendadas com o objetivo de aumentar a confiabilidade e produtividade dos processos de montagem, atender a demanda de produção e evitar danos nos veículos produzidos. Portanto, foram tomadas importantes iniciativas para aumentar a qualidade dos produtos e reduzir custos de garantia. Além disso, foram estabelecidas ações recomendadas para aumentar a segurança dos operadores e evitar condições de trabalho antiergonômicas.

A aplicação da metodologia proposta permitiu antecipar as necessidades de equipamentos e recursos para os processo de montagem. Isto foi importante para evitar imprevistos e atrasos na implementação de projetos. A especificação técnica

de equipamentos de montagem foi otimizada, pois foram levantadas várias necessidades para que os equipamentos fossem especificados de modo a aumentar a funcionalidade, eficiência e segurança.

Em todos os estudos de caso a aplicação da metodologia proposta forneceu requisitos de manufatura para serem consideradas nas análises de Projeto para Montagem (DFA) de veículos em desenvolvimento. As ações preventivas tomadas foram importantes para evitar modificações tardias no produto que poderiam resultar em altos custos e atrasos na implementação de projetos.

"*Como formar equipes para realizar estudos de PFMEA, utilizando-se as técnicas Brainstorming e Benchmarking?*".

As equipes para os estudos de PFMEA foram formadas aproveitando a metodologia Engenharia Simultânea e a estrutura organizacional matricial aplicada ao desenvolvimento de produtos. Isto possibilitou a formação de equipes compostas por representantes de diferentes áreas da organização, fator essencial para que fossem aplicadas as técnicas *Brainstorming* e *Benchmarking*. Todos estes fatores proporcionaram a obtenção dos resultados positivos nos três estudos de caso deste trabalho.

Cabe aqui ressaltar a importância de convidar os operadores da fábrica para participarem dos estudos, pois eles conhecem na prática as dificuldades das operações de montagem.

8.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A pesquisa teórica e a aplicação prática de ferramentas de qualidade no planejamento dos processos de montagem final possibilitaram a identificação dos seguintes temas a serem abordados em pesquisas futuras:

- Estudar a influência da metodologia proposta na definição de parâmetros de acabamento do veículo (*gap, flushness, matching,* etc.), pois estes parâmetros são importantes para a qualidade percebida pelos clientes;
- Avaliar os resultados econômicos com a aplicação da metodologia proposta;

- Incorporar a metodologia proposta no contexto do DFSS (*Design For Six Sigma*);
- Avaliar a influência do DFMEA com a metodologia proposta por este trabalho;

8.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a elaboração e implementação experimental de uma metodologia para otimizar o planejamento de processos de montagem final de veículos. O mapeamento de processos críticos foi fundamental para realizar esta atividade, pois levantou a interação entre as diversas áreas que contribuem com o planejamento de processos, o que possibilitou sistematizar a aplicação das ferramentas de qualidade.

Os estudos de caso demonstraram que a aplicação de ferramentas de qualidade proporciona melhorias de qualidade, produtividade e segurança no planejamento de processos de montagem final. O objetivo foi identificar e eliminar problemas no produto e nos processos de montagem que podem acarretar problemas de qualidade, custos desnecessários e atrasos na implementação de projetos na fábrica.

O instante inicial para realizar a análise preliminar dos processos de montagem foi sugerido como aquele em que ainda é possível solicitar modificações do produto através do DFA. Deste modo, os problemas do produto podem ser minimizados ou eliminados sem acarretar custos adicionais ou atrasos na implementação dos projetos. Além disso, este é o momento mais adequado para iniciar a preparação dos equipamentos de montagem, pois os prazos para desenvolvimentos de novos veículos estão cada vez menores devido aos avanços tecnológicos, e vários equipamentos de montagem levam muito tempo para serem projetados e construídos.

Outra preocupação importante referente aos equipamentos de montagem é a necessidade de especificá-los visando otimizar a produtividade. Caso isto não seja feito, os operadores poderão não utilizar o equipamento, procurando outros meios para executar a operação de montagem. Isto pode ocasionar problemas de qualidade

nos produtos produzidos, bem como problemas ergonômicos e de segurança para os operadores.

O PFMEA foi importante, pois através desta ferramenta o processo de montagem foi desmembrado e analisado detalhadamente, o que aumenta a possibilidade de identificar os problemas existentes, o que muitas vezes não é possível analisando-se o processo como um todo. Esta identificação de problemas é importante, pois muitas vezes um pequeno detalhe que não foi previsto no planejamento pode comprometer seriamente a implementação deste processo de montagem na fábrica.

Os estudos de PFMEA geraram muitas ações recomendadas, e na maioria delas estudou-se a aplicação de sistemas à prova de erros (*poka-yoke*). Como foi visto na revisão bibliográfica deste trabalho, os sistemas à prova de erros são os mais indicados para tornar os processos de montagem mais confiáveis.

É importante envolver os operadores da fábrica no planejamento de processos, pois eles conhecem na prática as dificuldades das operações de montagem. Os estudos de caso deste trabalho demonstraram que o detalhamento dos problemas de produção através de técnicas tais como o Diagrama de Causa e Efeito e o 5 Por Quês é importante para o estudo de PFMEA e para que o produto seja desenvolvido visando evitar problemas já conhecidos.

Outras técnicas que trouxeram benefícios importantes para os estudos de PFMEA foram o *Brainstorming* e o *Benchmarking*, pois elas possibilitam gerar várias informações e alternativas de ações recomendadas.

Durante a realização dos estudos de caso, observou-se que a aplicação do PFMEA não é difícil. A realização dos estudos requer um pouco de prática, que é obtida após a realização dos primeiros estudos. Os estudos que são realizados a seguir transcorrem mais facilmente. O PFMEA estimula as pessoas a planejarem os processos, o que é difícil ser feito caso não haja um procedimento formal para isto. É importante registrar os estudos de PFMEA para serem consultados posteriormente, servindo como Lições Aprendidas (*Lessons Learned*).

Muitas pessoas alegam que não têm tempo para realizar estudos preventivos, tais como o PFMEA. Porém, atualmente existem muitos recursos

tecnológicos tais como teleconferências, videoconferências, apresentações *on-line*, etc. que devem ser aproveitados, pois permitem que pessoas participem de reuniões sem a necessidade de se deslocarem de seus postos de trabalho.

Conclui-se que a iniciativa de elaborar uma metodologia visando otimizar o planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva tem papel importante para aumentar a qualidade inicial dos produtos, fator necessário para obter a satisfação dos clientes e evitar custos de garantia.

9 ANEXOS

9.1 ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA: GMB

A General Motors Corporation é a maior fabricante mundial de veículos. Desenha, constrói e vende carros e caminhões em todo o mundo. A General Motors do Brasil (GMB) é a maior subsidiária da corporação na América do Sul e a segunda maior operação fora dos Estados Unidos.

A General Motors do Brasil completou 80 anos de história no País e emprega cerca de 19 mil funcionários. Possui a mais completa linha de veículos do mercado nacional e exporta para vários países do mundo. Conta com 502 pontos de vendas de veículos em todo o território brasileiro, através da Rede de Concessionárias Chevrolet.

Importantes conquistas foram obtidas pela General Motors do Brasil nos últimos anos. O Celta é um modelo de veículo que foi concebido e criado no Brasil pelas áreas de design, engenharia e manufatura e que é hoje líder de vendas de toda a linha Chevrolet. O Meriva é outro veículo criado e concebido pela GMB em estreita cooperação com o Centro Tecnológico da Opel, na Alemanha.

O Celta foi o modelo de veículo pioneiro no mercado brasileiro na área de comércio eletrônico, tornando-se o modelo mais vendido no mundo pela internet. Além do Celta, a GMB comercializa toda a linha Corsa, o Classic, a picape Montana e o Meriva. Em breve, outros modelos estarão disponíveis para venda no sistema.

Em 2004 a GMB liderou o mercado brasileiro total de veículos de passageiros, através do emplacamento de 364.259 unidades. Este resultado trouxe pela primeira vez na história a liderança da empresa no ranking nacional, com 23,1% de participação no mercado (Editora GM, 2005).

Complexos Industriais e Comerciais da General Motors do Brasil

Complexo Industrial Automotivo de São Caetano do Sul - SP
Inaugurado em 1930
Produção: Linha Astra, Vectra e Corsa Classic

Complexo Industrial Automotivo de São José dos Campos - SP
Inaugurado em 1959
Produção: Linha Corsa, Meriva, picapes S10 e Montana, Blazer, Zafira

Complexo Industrial Automotivo de Gravataí - RS
Inaugurado em 2000
Produção: Linha Celta

Campo de Provas da Cruz Alta - Indaiatuba - SP
Inaugurado em 1974
As pistas e os laboratórios são os mais modernos da América Latina

Centro Distribuidor de Peças - Sorocaba - SP
Inaugurado em 1996
A unidade foi criada para receber, embalar, separar e despachar peças produzidas pelos fornecedores da GMB.

Complexo Industrial e Comercial de Mogi das Cruzes - SP
Inaugurado em 1999
Produção de componentes estampados em aço

9.2 ANEXO B - O SISTEMA DE DESIGNAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS CHAVE DA GENERAL MOTORS (GENERAL MOTORS, 2003)

O propósito do Sistema de Designação de Características Chave da General Motors (KCDS – *Key Characteristics Designation System*) é auxiliar na produção econômica de produtos com qualidade. Neste sistema as características dos produtos são classificadas de acordo com requisitos de segurança, voz do consumidor, regulamentações e normas governamentais. Através desta classificação são identificadas as características do produto que exigem maiores cuidados. Os três tipos de características do produto são: padrão, ajuste/função e segurança/conformidade.

Para as características padrão são aplicadas práticas usuais de fabricação e montagem do produto que atendem os requisitos do projeto e a satisfação dos consumidores.

Ajuste/função é uma característica do produto na qual uma variação tem probabilidade de afetar significativamente a satisfação do cliente com o produto. A característica pode ser: função, ajuste, montagem, aparência ou habilidade para processar ou fabricar o produto. Esta característica também é denominada Característica de Qualidade do Produto (PQC - *Product Quality Characteristics*).

Segurança/conformidade é uma característica do produto na qual uma variação pode afetar significativamente a segurança do produto ou a conformidade com regulamentações governamentais. Exemplos de características tipo segurança/conformidade são: inflamabilidade, proteção aos ocupantes, controle de direção, freios, emissões, ruídos, etc. Esta característica também é denominada Característica Chave do Produto (KPC - *Key Product Characteristics*).

A Tabela 9.1. a seguir apresenta as características do produto, descrição e os símbolos utilizados (QS-9000, 1998). A identificação de características especiais é importante para que não sejam tomados cuidados extras para componentes que não necessitam, o que aumenta o custo do produto sem agregar valor para os clientes. Para fazer a identificação de características especiais do produto é necessário ouvir a

voz do consumidor e utilizar a metodologia engenharia simultânea para envolver a experiência de representantes de diversas áreas de uma organização.

As características de processo são relacionadas com as características do produto. A Característica de Controle Chave (KCC - *Key Control Characteristic*) é um parâmetro de processo diretamente relacionado às características especiais do produto, ou seja, ao KPC e ao PQC. A variação de um KCC precisa estar dentro de uma faixa admissível para assegurar que a variação da característica especial do produto esteja dentro do objetivo. O KCC utiliza os mesmos símbolos do KPC e do PQC.

Nos estudos de DFMEA, a coluna de classificação de características especiais é utilizada para identificar o PQC e o KPC, enquanto que nos estudos de PFMEA a mesma coluna é usada para identificar as Características de Controle Chave (KCC - *Key Control Characteristics*). As funções do processo que estiverem marcadas com os símbolos referentes ao KCC necessitam de cuidados extras para que variações sejam evitadas.

Tabela 9.1: Definição das Características do Produto (QS-9000, 1998)

	Característica Padrão	**Características Especiais**	
Nomenclatura	**PADRÃO**	**Característica de Qualidade do Produto (PQC)** **AJUSTE / FUNÇÃO** **<F/F>**	**Característica Chave do Produto (KPC)** **SEGURANÇA / CONFORMIDADE** **<S/C>**
Definição	É uma característica do produto para qual uma variação tem baixa probabilidade de afetar significativamente a função / ajuste, atendimento a regulamentações governamentais e segurança.	Característica do produto para qual uma variação tem probabilidade de afetar significativamente a satisfação do cliente com o produto tais como o seu ajuste, função, montagem, aparência ou habilidade para processar ou fabricar o produto.	É uma característica do produto para a qual uma variação pode afetar significativamente a segurança do produto ou sua conformidade com regulamentações governamentais, tais como inflamabilidade, proteção aos ocupantes, controle de direção, freios, emissões, ruído, interferência de radiofreqüência, etc.
Símbolo	Nenhum	◇	⊽

9.3 ANEXO C - A UNIDADE DE ANÁLISE: ENGENHARIA DE PROCESSOS DE MONTAGEM DE VEÍCULOS

A Engenharia de Processos de Montagem de Veículos é a área da Engenharia de Manufatura da GMB responsável por planejar processos de montagem final nas fábricas durante o desenvolvimento de produtos. Faz parte deste planejamento o Projeto para Montagem (DFA), a especificação técnica de equipamentos, ferramentas e dispositivos para montagem, o estudo de métodos de trabalho e a determinação do conteúdo de trabalho das operações através da análise de micromovimentos.

Outras atividades da Engenharia de Processos de Montagem de Veículos são o acompanhamento da montagem de protótipos físicos durante a validação do produto na Engenharia Experimental e o acompanhamento da montagem das unidades de corrida-piloto, fase de implementação do projeto em que é feita a validação dos processos de manufatura.

A Fig. 9.1 a seguir ilustra o organograma da área de Engenharia de Manufatura:

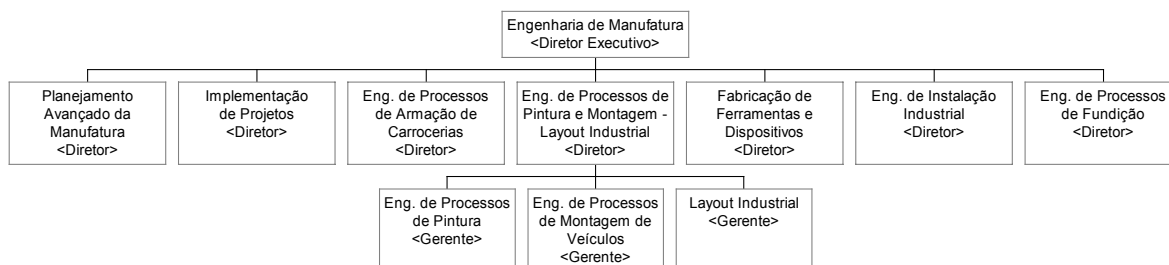



Fig. 9.1: Organograma da Engenharia de Manufatura

Os profissionais da Engenharia de Processos de Montagem de Veículos passaram por treinamentos de Tempos e Métodos, Ergonomia do Trabalho e PFMEA.

9.4 ANEXO D - DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE MONTAGEM FINAL DE VEÍCULOS

Os processos de montagem final são aqueles em que componentes são montados diretamente na carroceria pintada do veículo. Este capítulo tem por objetivo dar uma visão geral destes processos. Eles estão distribuídos em várias áreas distintas, e cada uma delas tem características próprias devido à seqüência de montagem do veículo e condições ergonômicas.

As informações aqui descritas são baseadas em uma fábrica em particular. Esta observação é importante pois o processo de montagem pode variar bastante caso seja tomada como referência uma outra fábrica.

A carroceria do veículo é produzida pelas áreas de Estamparia e Funilaria. Na Estamparia são fabricadas peças estampadas que são unidas na área de Funilaria para formar a carroceria do veículo.

A carroceria passa então pela área de Pintura, onde recebe tratamento para evitar a corrosão. Em seguida a carroceria é pintada na cor final do veículo, para depois ser enviada para a linha de montagem de Tapeçaria.

Os processos de montagem final começam na linha de montagem de Tapeçaria. Uma das primeiras operações executadas nesta área é a remoção das portas do veículo para serem enviadas para a área de Montagem de Portas (área conhecida como *Doors-off*). Este procedimento tem por objetivo facilitar o acesso do montador ao interior da carroceria na área de Tapeçaria, e para que as portas do veículo sejam montadas em melhores condições ergonômicas na área de Montagem de Portas. Isto porque as portas são colocadas em transportadores na forma de quadros (*frames*) que estão a uma altura adequada para que os operadores montem os componentes da portas (maçanetas, fechaduras, vidros, guarnições, painéis de acabamento, etc.).

Na área de Tapeçaria as carrocerias ficam suspensas em transportadores (também conhecidos como *skillets*) a uma altura do piso adequada para montar os primeiros componentes internos do veículo e do compartimento do motor: isoladores

de ruído, chicotes elétricos, cintos de segurança, faróis, lanternas, tapete, forro do teto, peças de acabamento, etc.

Fig. 9.2: Linha de Montagem Tapeçaria

Na área de Montagem do Painel de Instrumentos (componente também conhecido como *Cockpit*) é feita a montagem deste componente de forma modular, em transportadores a uma altura adequada ergonomicamente. Em seguida, o Painel de Instrumentos é montado na carroceria, operação feita na área de Tapeçaria.

Após a montagem do Painel de Instrumentos, as últimas peças da área de Tapeçaria são montadas (vidros, painéis de acabamento, console do assoalho, bancos, etc.). Por fim as portas totalmente montadas são recolocadas na carroceria. São montadas exatamente as mesmas portas que haviam sido removidas anteriormente, pois todo o processo é seqüenciado.

Em seguida, as carrocerias passam para a Linha Aérea Mecânica. Nesta área, as carrocerias são transferidas para transportadores tipo gancho (conhecidos como gancho elefante) que suspendem as carrocerias a uma altura ergonômica para que sejam montadas as peças que ficam na região inferior (tanque de combustível, sistema de escapamento, tubulações de freio e combustível, etc.).

Fig. 9.3: Linha Aérea Mecânica

O Trem de Força (módulo composto pelo motor, transmissão, sistema de arrefecimento, etc.) e as suspensões dianteira e traseira são montados na forma de módulos em áreas distintas: Área de Montagem do Trem de Força (*Engine Dress-up*) e a Área de Montagem das Suspensões. Estes módulos são então encaminhados para a linha aérea onde são montados na carroceria do veículo. A área onde ocorre a montagem do Trem de Força na carroceria é denominada "Carrossel" (ou *Towveyor*). As suspensões são montadas na Linha Aérea Mecânica.

Na área de Rodas e Pneus é feita a preparação destes componentes na forma de módulos que são preparados para serem montados na Linha Aérea Mecânica. Inclusive a roda reserva é montada nesta etapa.

Uma das últimas operações da Linha Aérea Mecânica é o abastecimento de combustível. As carrocerias são então transferidas para a próxima etapa da montagem final que ocorre na Linha de Placas, área onde as carrocerias com suspensões e rodas já montadas são transferidas. O piso da Linha de Placas é móvel para transportar as carrocerias.

Fig. 9.4: Transferência para a Linha de Placas

A maioria das operações feitas na Linha de Placas é referente ao compartimento do motor do veículo (ligação de mangueiras, chicotes, montagem de reservatórios, painel defletor de água, palhetas do limpador do parabrisa, enchimentos de fluidos, etc.). Por fim, o veículo totalmente montado é ligado.

A última etapa de todo este processo de montagem final é a Área de Validação (também conhecida como *Finesse*). Nesta área são feitos o alinhamento de rodas e farol, testes de rolo e elétrico, programação dos módulos eletrônicos do veículo e testes de infiltração de água. Para encerrar, é feita uma série de inspeções para garantir a qualidade do veículo produzido.

10 LISTA DE REFERÊNCIAS

ALLEN T. J., **Organizational Structure, Information Technology and R&D Productivity**. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. EM-33, No. 4, November, 1986.

BASS L., **Cumulative supplement to Products liability: Design and manufacturing defects.** Colorado Springs, Colo.: Shepard's/McGraw-Hill, 1991.

BAUER D. e LABUTTE E., **Error/Mistake Proofing During New Vehicle Launches.** Society of Automotive Engineers, Inc. 1999.

BLANCHARD B. S., **Logistics engineering and management.** 3rd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1986.

BRADFORD L. P. **Making meetings work: A guide for leaders and group members.** San Diego: University Associates, 1976.

BRALLA J. G., **DFX - Design For eXcellence.** New York: McGraw-Hill, 1996.

BRAZ M. A. **Ferramentas e Gráficos Básicos. In: Seis Sigma – Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços.** São Paulo, Brasil. Editora Atlas S.A. 2002.

BROUGHTON T., **Simultaneous engineering in aero gas turbine design and manufacture.** The proceedings of the first international conference on simultaneous engineering, pp. 25-36. Londres, 1990.

DALE B. G. **Quality management systems.** Managing Quality. Prentice Hall, 1994.

DAS A. *et al.*, **A contingent view of quality management - the impact of international competition on quality.** Decision Sciences, Vol. 31 No. 3 pp. 649-90.

Editora GM. **GM do Brasil completa 80 anos.** Disponível no site: http://www.chevrolet.com.br/gm80anos/gm80anos.shtm. Acesso em: 23/04/2005.

ELZINGA D. J., HORAK T., LEE C. Y. e BRUNER C. **Business process management: survey and methodology.** IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 42 No. 2, pp. 119-27. 1995.

GALBRAITH J. K., **Designing Organizations.** Jossey Bass, San Francisco, 1995.

GENERAL MOTORS CORPORATION, CHRYSLER GROUP and FORD MOTOR COMPANY. **Recognition of ISO/TS 16949:2002, Expiration of QS-9000,** 3rd Edition (QS-9000:1998). Letter to Automotive Suppliers. Disponível no site: http://www.aiag.org/forms/Joint_AIAG_QSTS_Letter.pdf. Acesso em fevereiro de 2005.

GIL A. C., **Como elaborar projetos de pesquisa.** Editora Atlas. 3a. edição. São Paulo, 1996.

HART-SMITH L. J. **Design for Assembly (DFA) – The Key to Making Parts-Count Reduction Profitable.** Society of Automotive Engineers, Inc. 1999.

HEGEDUS C. E., **Notas de aula da disciplina PRO-5816 - Gerenciamento da Qualidade Total - Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva** - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

ISO/TS-16949 International Organization for Standardization, 2002.

KAMINSKI P. C., **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade.** Rio de Janeiro, RJ. Editora LTC S.A. 2000.

KAMINSKI P. C., **Notas de aula da disciplina PMC-5603 – Administração de Projetos e Desenvolvimento de Produtos com Planejamento, Organização e Qualidade -** Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

KUEI C. et al., **An empirical investigation of the association between quality management practices and organizational climate.** International Journal of Quality Science, Vol. 2 No. 2 pp. 121-37. 2001.

MAGD H. e CURRY A., **ISO9000 and TQM: are they complementary or contradictory to each other?** The TQM Magazine, Vol. 15 No. 4 pp. 244-256. 2003.

MARTINS A. R. e TOLEDO C., **Total Quality Management Programs: a framework proposal.** Work Study, Vol. 49 No. 4 pp. 145-51. 2000.

MIYAKE D. I., **Notas de aula da disciplina PRO-5815 – Estratégias de Manufatura.** Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

MOSVICK R. K. e NELSON R. B., **We've got to start meeting like this! A guide to successful business meeting management.** Glenview, Ill.: Scott, Foresman and San Diego: University Associates, 1987.

NBR ISO-9000 International Organization for Standardization, 2000.

NBR ISO-9001 International Organization for Standardization, 2001.

NICOLL D. R., **Meeting Management. In: The 1981 annual handbook for group facilitators.** Editado por J. W. Pfeiffer e J. E. Jones. University Associates. San Diego, 1981.

NOHRIA N., **Note on Organizational Structure.** Harvard Business School Publishing, Boston, 1991.

Requisitos do Sistema de Qualidade QS-9000 Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation, 1998.

ROTONDARO R. G. *et al.*, **Seis Sigma – Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços.** São Paulo, Brasil. Editora Atlas S.A. 2002.

ROZENFELD H., AMARAL D. C., **O processo de desenvolvimento de produtos. Fábrica do Futuro, Produtos e Serviços. São Carlos,** no. 312 pp. 55-64, dez. 2000.

SAE J-1739 Surface Vehicle Recommended Practice, Potential Failure Mode and Effect Analysis in Design (DFMEA), Manufacturing and Assembly Processes (PFMEA) and Machinery (MFMEA) Society of Automotive Engineers, Inc., 2002.

SANTIAGO G. L. A., **Ações de Melhoria Contínua da Qualidade na Orquestra Experimental da UFSCAR.** Dissertação de Mestrado. São Paulo, 2002.

SCHINDLER-RAINMAN E. R. *et al.*, **Taking your meetings out of the doldrums.** Rev. ed. University Associates, San Diego, 1988.

SHINGO S., **Poka-yoke: Improving product quality by preventing defects.** Nikkan Kogyo Shimbun/Factory Magazine, (Ed.). Portland, Oregon: Productivity Press, 1988.

SLACK N. *et al.*, **Administração da Produção.** São Paulo, Brasil. Editora Atlas S.A. 1997.

SOUZA, G. M., **Notas de aula da disciplina PMC-5613 - Confiabilidade de Produtos e Sistemas** - Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

STAMATIS D. H., **FMEA and the QS-9000 Requirement.** Society of Automotive Engineers, Inc. Copyright 1996.

STAMATIS D. H., **Failure Mode and Effect Analysis – FMEA from Theory to Execution.** Milwaukee, Wisconsin; ASQ Quality Press. 1995.

STAMATIS D. H., **Team building training manual.** Southgate, Mich.: Contemporary Consultants, 1991.

STAUFFER R., **Simultaneous Engineering: What is it?** Manufacturing Engineering, September 1988.

THIOLLENT, M. **Pesquisa-ação em organizações.** Ed. Atlas. São Paulo, 1997.

VASCONCELLOS E., HEMSLEY J., **Estrutura das Organizações.** Pioneira, São Paulo, 1997.

WALLACE J., BAGNI T., SHAW G. e NWAGBOSO C. , **Gaining Competitive Advantage through Automotive Product Benchmarking for Foresight Vehicles.** Society of Automotive Engineers, Inc., Copyright 2002.

WELTER T. R., **The Genesis of Product Design.** Industry Week, 16 de outubro de 1989.

WHITNEY D. E., **Manufacturing by design.** Harvard Business Review. Julho / Agosto de 1990.

YAMAZOE T., **Simultaneous engineering: a Nissan perspective.** The proceedings of the first international conference on simultaneous engineering, pp. 73-80. Londres, 1990.